

Aus dem Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde  
Universitätsklinikum Eppendorf  
Poliklinik für Zahnerhaltung und Präventive Zahnheilkunde  
Bereich Präventive Zahnheilkunde  
Leitung: Prof. Dr. Ulrich Schiffner

**Zur Bedeutung der Refluoridierung von Glasionomermaterial  
für die Fluoridaufnahme auf und in Zahnschmelz**

**Dissertation**

zur Erlangung des Grades eines Doktors der Zahnmedizin  
dem Fachbereich Medizin der Universität Hamburg

vorgelegt von:

Inke Kohrmeyer  
aus Bremerhaven

Hamburg 2006

Angenommen von der Medizinischen Fakultät

der Universität Hamburg am: 27.03.2007

Veröffentlicht mit Genehmigung der Medizinischen  
Fakultät Hamburg

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

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

Prüfungsausschuss: 3. Gutachter/in: PD Dr. A. Klocke

## Inhaltsverzeichnis

<b>Inhaltsverzeichnis .....</b>	<b>I</b>
<b>1 Fragestellung und Arbeitshypothese .....</b>	<b>1</b>
<b>2 Einleitung und Literaturübersicht.....</b>	<b>4</b>
2.1 Kariesätiologie.....	4
2.2 Fluorid und die Wirkungsmechanismen von Fluorid.....	5
2.3 Fluoridabgabe und Wiederaufnahme von Füllungsmaterialien.....	8
2.4 Effekte der Fluoridabgabe aus Glasionomerzementen und der lokalen Fluoridierungsmaßnahmen auf Zahnschmelz .....	12
2.4.1 Effekte der Fluoridabgabe aus Glasionomerzement.....	12
2.4.2 Effekte der lokalen Fluoridierungsmaßnahmen .....	15
<b>3 Material und Methode .....</b>	<b>19</b>
3.1 Zahnmaterial .....	19
3.2 Glasionomerzement .....	19
3.3 Lösung .....	22
3.4 Versuchsaufbau .....	22
3.5 Fluoridbestimmung auf dem Schmelz .....	25
3.6 Bestimmung der Fluoridkonzentration im Schmelz .....	28
3.7 Statistik.....	33
<b>4. Ergebnisse.....</b>	<b>34</b>
4.1 Ausgangs- und Endfluoridgehalt der Schmelzproben .....	35
4.2 Vergleich der Fluoridaufnahme auf und in Oberflächenschmelz nach unterschiedlicher Fluoridexposition .....	37
4.3 Ätztiefen .....	39

<b>5. Diskussion .....</b>	<b>41</b>
5.1 Diskussion der Methodik .....	42
5.2 Diskussion der Ergebnisse .....	47
<b>6. Zusammenfassung.....</b>	<b>53</b>
<b>7. Literaturverzeichnis .....</b>	<b>55</b>
<b>8. Anhang .....</b>	<b>71</b>

## 1 Fragestellung und Arbeitshypothese

Karies stellt heute immer noch eine der häufigsten Zivilisationskrankheiten in den westlichen Industrieländern dar. In der Vergangenheit war es üblich, durch Karies verursachte Zahndefekte durch restaurative oder prothetische Maßnahmen zu versorgen. Jedoch findet zunehmend eine Umorientierung zur Prävention hin statt, um bereits die Entstehung von Karies zu vermeiden (Elderton 1994).

Trotz des Wandels bezüglich der zahnmedizinischen Betreuungskonzepte fielen im Jahr 2002 zur Behandlung der Karies in Deutschland (alte Bundesländer) bei den in einer gesetzlichen Krankenversicherung versicherten Patienten Kosten in Höhe von 9,6 Milliarden Euro an (Kassenzahnärztliche Bundesvereinigung 2003). Die Erkrankung und ihre Folgen können jedoch durch Prophylaxe eingegrenzt oder sogar vermieden werden. Gruppen- wie auch individualprophylaktische Maßnahmen haben zu einer Verringerung des DMFT-Indexes und der Zunahme kariesfreier Gebisse bei Kindern und Jugendlichen geführt (Pieper 1998, Schiffner und Reich 1999a). 50% der 12-jährigen Jugendlichen in Westdeutschland sind kariesfrei (Schiffner und Reich 1999a, Pieper 2005).

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). Zudem ist nach wie vor auch bei den Erwachsenen eine starke Verbreitung der Karies anzutreffen (Schiffner und Reich 1999a). Es besteht also weiterhin ein hoher Bedarf an oraler Prävention bei Kindern, Jugendlichen und Erwachsenen.

Die Kariesprophylaxe basiert auf der Anwendung von Fluoriden, der zahngesunden Ernährung, der adäquaten Mundhygiene und regelmäßigen zahnärztlichen Kontrollen (Gülzow 1995), ergänzt durch Versiegelung von Fissuren. 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 beobachteten Kariesrückgang in vielen westlichen Industriestaaten (Marthaler 1984 und 1990, Bowen 1991).

Eine besonders große Rolle spielt dabei die fluoridhaltige Zahnpasta, in der Fluorid in verschiedenen chemischen Verbindungen enthalten ist. Für den Großteil der Bevölkerung bedeutet diese Fluoridquelle die regelmäßige Zufuhr von Fluoriden und damit die Sicherung eines der wichtigsten Pfeiler der Prävention (Hellwig et al. 1999).

Die Effektivität lokaler Fluoridierungsmaßnahmen ist jedoch von der Mitarbeit des einzelnen Patienten abhängig. Unter diesem Gesichtspunkt werden Fluoride auch zahnärztlichen Füllungsmaterialien zugesetzt. Langwährende Fluoridfreisetzung aus den Materialien soll die karieshemmenden Effekte der Fluoride wirksam werden lassen. Ein weiterer Aspekt zur Verwendung fluoridhaltiger Füllungsmaterialien liegt in der hohen Erneuerungsrate von Füllungen bei Erwachsenen aufgrund von Sekundärkaries (Mjör 2000).

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-Kofman 1997).

Die Fluoridfreisetzung aus dem Glasionomerzement ist initial, innerhalb der ersten 24 Stunden, sehr hoch. Anschließend fällt sie jedoch auf ein deutlich niedrigeres Niveau ab, so dass die längerfristigen Fluoridierungseffekte aus Glasionomerzement fraglich sind (Hatibovic-Kofman und Koch 1991, Creanor et al. 1994, Diaz-Arnold et al. 1995). Durch lokale Fluoridapplikation kann Fluorid jedoch auch wieder von Glasionomerzement aufgenommen (Hatibovic-Kofman 1996 und 1997, De Witte 2000) und anschließend wieder an die Umgebung abgegeben werden (Forsten 1991, Hatibovic-Kofman 1997). Diesem als „Wiederaufladung“ oder „rechargement“ bezeichneten Vorgang wird insbesondere in unmittelbarer Umgebung einer Glasionomerzementfüllung ein karieshemmender Effekt zugesprochen (Staehele und Bößmann 1884, 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 daher ein Vergleich der Fluoridanlagerung sowie der Fluorideinlagerung im oberflächlichen Zahnschmelz aus benachbarten Glasionomerzement-Proben, aus wiederaufgeladenen Glasionomerzement-Proben, bei denen der Schmelz nicht gleichzeitig fluoridiert wird, sowie aus wieder aufgeladenen Glasionomerzement-Proben bei gleichzeitig mitfluoridiertem Schmelz angestellt werden. Dabei soll besonders Wert auf die Simulation oraler Bedingungen gelegt werden. Hierzu gehören die Pellikel, die Speichelionen, die Umgebungstemperatur, sowie die oral durchschnittlich auftretende Fluoridkonzentration während des Zähneputzens. Hierdurch soll eine Abschätzung über die kariesprotektive Bedeutung des aus Glasionomerzement freigesetzten Fluorids im Vergleich zu regelmäßigem Zähneputzen mit fluoridhaltigen Zahnpasten ermöglicht werden.

Die der Untersuchung zugrunde liegende Hypothese lautet:

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

## 2 Einleitung und Literaturübersicht

### 2.1 Kariesätiologie

MILLER (1898) (Zitat bei 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, weiteren 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 für zwei Minuten 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 Verschiebung des Gleichgewichtes zwischen De- und Remineralisation des Zahnschmelzes hin zur Demineralisation der Zahnhartsubstanz vor (Klimm 1997).



Bei Erwachsenen steht das Auftreten von Sekundärkaries im Vordergrund. Hierunter werden neue kariöse Läsionen in Randbereichen von zahnärztlichen Restaurationen verstanden. Histologisch besitzt eine Sekundärkaries alle Charakteristika einer primär auftretenden kariösen Läsion. Ursache hierfür ist meist eine Spalt- oder Stufenbildung zwischen Zahnhartsubstanz und Restaurationsmaterial. Bakterien können hier eindringen, und es kommt sowohl im Zahnschmelz als auch im Dentin am Füllungsrand zu kariösen Defekten (Hellwig et al. 1999).

## 2.2 Fluorid und die Wirkungsmechanismen von Fluorid

Fluorid ist ubiquitär vorhanden und kommt als natürlicher Bestandteil der Erdkruste in unterschiedlicher Konzentration im Boden und Wasser vor. Die Meere weisen Fluoridkonzentrationen von 1,0 bis 2,7 ppm auf (Strubelt 1989). Fluorid ist ein essentielles Spurenelement, das im Bereich vulkanischer Böden, wie z.B. in Deutschland der Vulkaneifel, aber auch in Regionen von Erzgebirge, Schwarzwald, Nordbayern und der Oberpfalz, in erhöhten Konzentrationen im Trinkwasser enthalten ist (Eberle und Wolter 1985, Hübers und Naujoks 1980, Künzel und Auermann 1967). In den meisten Teilen Deutschlands ist der Fluoridgehalt im Trinkwasser jedoch gering. Fluorid wird auch durch die Nahrung aufgenommen, obwohl das Fluoridangebot der Nahrung durchweg gering ist. Abhängig von der Art der Fluoridverbindung wird es bis zu 100% resorbiert. Eine gute Bioverfügbarkeit haben die Verbindungen Natriumfluorid ( $\text{NaF}$ ), Zinnfluorid ( $\text{SnF}_2$ ) und Fluorwasserstoff ( $\text{HF}$ ). Schwer löslich dagegen sind Kalziumfluorid ( $\text{CaF}_2$ ), Magnesiumfluorid ( $\text{MgF}_2$ ) und Aluminiumfluorid ( $\text{AlF}_3$ ) (Ekstrand und Ehrnebo 1980). Der Fluoridgehalt im Plasma liegt relativ konstant bei 0,01- 0,02 ppm (Patz 1975).

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 (DCPD) oder Oktakalziumphosphat

(OCP). 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).

Mit Fluorid kann eine Kariesreduktion erreicht werden, und zwar ohne besonderen Einsatz der Patienten (Gülzow 1995). Fluorid ist die bisher einzige bekannte und erforschte Substanz, die bei De- und Remineralisationsvorgängen eine tragende Rolle spielt und eine wirksame Hemmung von Demineralisierungsprozessen an der Zahnoberfläche bietet.

Aus zahlreichen Untersuchungen ist bekannt, dass Fluorid mit Zahnhartsubstanz Wechselwirkungen eingeht. Bei initialkariösen Läsionen kann Fluorid zur Remineralisation dieser Areale führen. Fluorid verringert die Säurelöslichkeit der Zahnoberfläche und verschiebt das Gleichgewicht von De- und Remineralisation zu Gunsten der Remineralisation.

Fluoridionen können anstelle der OH-Gruppen isomorph in das Kristallgitter eingebaut werden und bewirken eine Stabilisierung der Apatitstruktur (Larsen und Jensen 1989). Es entsteht dabei ein Fluorhydroxylapatit, da die OH-Gruppen meist nur teilweise ersetzt werden. Der beschriebene Einbau von Fluorid findet zwar nicht nur unter sauren Bedingungen statt, jedoch ist die Menge des eingebauten Fluorids unter sauren Bedingungen erhöht (Haubner 1990).

Besonders hoch ist die Fluoridaufnahme in den Zahnschmelz, wenn dieser infolge von Demineralisationsvorgängen kristalline Fehlstellungen aufweist. Daher gehört die Förderung von Remineralisationsvorgängen an initialkariösen Läsionen mit intakter Oberflächenstruktur zu den bedeutenden und wichtigsten Eigenschaften der Fluoride. Unter günstigen Umständen kann es klinisch zu einer vollständigen Remineralisierung solch einer Läsion kommen (Hellwig et al. 1999).

Neben den Einbaumöglichkeiten der Fluoridionen in das Kristallgitter kann es zusätzlich zu einem Niederschlag aus Fluoridionen und Kalziumionen kommen,

welche die Kalziumfluoriddeckschicht auf der Oberfläche des Schmelzes bilden. Bei neutralen pH-Bedingungen in der Mundhöhle ist diese Kalziumfluoridschicht schwer löslich. Kommt es zu einer pH-Wert-Verschiebung in den sauren Bereich ( $\text{pH} < 5$ ), so gehen Fluoridionen in Lösung und stehen direkt dort zur Remineralisierung zur Verfügung, wo Demineralisationsprozesse stattfinden (Rölla 1988, Rölla und Saxegaard 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 relativ stabil bleibt (Ögaard 1990).

Eine weitere, jedoch wahrscheinlich geringere Rolle spielt der Einfluss der Fluoride auf den bakteriellen Stoffwechsel. Fluorid hemmt den bakteriellen Stoffwechsel, da es an mehreren Stellen der Glykolyse inhibierend wirkt. Die Hemmung der Enolase verhindert die Bildung von Laktat und die Produktion von Phosphoenolpyruvat und damit gleichzeitig die phosphoenolpyruvatabhängige Glukoseaufnahme in die Bakterienzelle (Hamilton 1977 und 1990). Die weitere Folge dieser zentralen Inhibition des bakteriellen Stoffwechsels ist die Synthesehemmung der extrazellulären Polysaccharide.

Fluorid hat 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 hohen Konzentrationen wirkt Fluorid bakterizid. In der Plaque werden allerdings keine Fluoridkonzentrationen erreicht, die zum Absterben der Mikroorganismen führen (Hellwig et al. 1999).

Auch die Inhibition der membranständigen ATP-abhängigen Protonenpumpe konnte festgestellt werden. Zusätzlich zur Aufnahme des im Zytoplasma dissoziierten, stark sauren Fluorids ist der Protonengradient herabgesetzt, was sich weiter negativ auf die Bakterien auswirkt (Hamilton 1990). Durch den Funktionsausfall dieser Protonenpumpe wird die Säuretoleranz von *Streptococcus mutans* stark herabgesetzt (Marquis 1990).

### 2.3 Fluoridabgabe und Wiederaufnahme von Füllungsmaterialien

Insuffiziente, frakturierte oder verlorene Füllungen sind Indikationen für deren Reparatur 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.

Es wurden verschiedene Möglichkeiten zur Verbesserung eines Füllungsmaterials in Bezug auf Sekundärkaries untersucht. Zum einen wird versucht, einen Randspalt zu verhindern oder so gering wie möglich zu gestalten. Zum anderen werden Substanzen, die durch das Füllungsmaterial freigesetzt werden, zur Karieshemmung eingesetzt.

Die wichtigste Substanz hierbei ist das Fluorid. Es wurde eine Vielzahl an Materialien entwickelt, die Fluorid abgeben, speichern oder wiederaufnehmen können. Hierzu gehören die Glasionomerzemente, die lichthärtenden Glasionomerzemente, die Kompomere 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 einigen 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, Hatibovic-Kofman und Koch 1991, Forsten 1998, Smith 1998, Schiffner und von Bröckel 1999, Attin et al 1999).

Lichthärtende Glasionomerzemente weisen die gleiche Abgabecharakteristik auf wie die konventionellen Glasionomerzemente (Creanor et al. 1994, Diaz-Arnold et al. 1995, Hatibovic-Kofman und Koch 1991, Smith 1998). Es gibt zwar Unterschiede zwischen den Produkten der einzelnen Hersteller, jedoch lässt sich insgesamt ermitteln, dass die konventionellen wie auch die lichthärtenden Glasionomerzemente eine relativ hohe Fluoridabgabe zeigen. Deutlich geringere Mengen werden aus Kompomeren oder Kompositen freigesetzt. (Creanor et al.

1994, Forsten 1995, Glockmann et al. 1997, Smith 1998, Schiffner und von Bröckel 1999, Hattab und Amin 2001, Williams 2002).

Die Art des Füllungsmaterials ist eine entscheidende Komponente, wie hoch die Fluoridabgabe ist und wie lange sie dauert. Eine andere wichtige Komponente, die die gemessene 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 in demineralisiertem Wasser (el Mallakah und Sarkar 1990, Glockmann et al. 1997, Hattab und Amin 2001, Saul 2002, Regel 2003). Bekannt ist, dass zwei Faktoren eine Rolle bei der Erniedrigung der Fluoridabgabe im Speichel spielen. Der eine Faktor ist die Pellikel, welche sich aus Bestandteilen des Speichels, im wesentlichen Glykoproteine und Proteine, fest an die Zahnoberfläche anlagert und eine Diffusionsbarriere bildet (Hannig 1994a, Creanor et al. 1995). Der andere Faktor ist das Konzentrationsgefälle zwischen Ionen auf der Füllungsoberfläche und im Lagerungsmedium (Regel 2003).

Eine Vorbereitung der Proben mit humanem Speichel allein reduziert die Fluoridabgabe der Füllungsmaterialien. So kann durch die Pellikel eine Reduktion von bis zu 74% gegenüber der Abgabe von Fluorid in demineralisiertem Wasser auftreten (Damen et al. 1996). Auch der Wiederaufladungseffekt einer Glasionomermaterialfüllung mit Fluorid ist durch die Pellikel negativ beeinflusst; die Fluoridkinetik wird gehemmt (Regel 2003).

Die Pellikel hat, in Abhängigkeit vom Lipidanteil, Einfluss als Diffusionsbarriere für verschiedene Ionen und Säuren. Die Pellikel trägt dazu bei, die Präzipitation von Kalziumsalzen zu inhibieren (Hannig 1994a). Saure, prolinreiche Glykoproteine fungieren im adsorbierten Zustand als Inhibitoren und wirken so der kontinuierlichen Ausfällung von Kalziumsalzen an der Schmelzoberfläche entgegen (Hannig 1994a).

Andererseits ist die Pellikel für Fluoride permeabel und reduziert nur in geringem Umfang die Aufnahme für strukturell gebundenes Fluorid in den Zahnschmelz (Hannig 1994b).

Durch Simulation von kariesfördernden Bedingungen in Form von angesäuerten Lösungen kann ein verändertes Abgabeverhalten von Fluorid aus Glasionomerzement beobachtet werden. Einmalige und 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 Glasionomerzement wurde untersucht. In der Literatur werden zwei Mechanismen zur Fluoridaufnahme diskutiert: zum einen eine mechanische Einlagerung in Mikroporositäten in der Oberfläche des Füllungsmaterials, zum anderen eine chemische Bindung (Marinelli und Donly 1993). Der Wiederauflade- oder auch „recharging“-Effekt der Glasionomerzemente 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 Glasionomerzementen 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 2003).

Hierbei können Fluoridmengen freigesetzt werden, die die initiale Abgabe von Fluorid nach dem Legen einer Füllung überschreiten. Diese hohen Werte dauern allerdings höchstens wenige Tage an (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-Kofman 1996, De Witte 2000, Knop et al. 2003).

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 (Creanor et al. 1995). Klinisch hat diese Konzentration Relevanz, da Fluorid in etwa dieser Konzentration während des Zähneputzens in der Mundhöhle als Speichel-Zahnpasten-Gemisch mit 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 nach einer einwöchigen Touchierung bei konventionellen und lichthärtenden Glasionomerzementen erzielt worden (Forsten 1995).

Konventionelle und lichthärtende Glasionomerzemente erreichen im Vergleich zu nicht fluoridierten Kontrollproben nach 20 Tagen Fluoridabgabewerte, die die der Kontrollen um ein Vielfaches übersteigen (Creanor et al. 1994 und 1995).

Die erhöhte Fluoridabgabe der konventionellen und lichthärtenden Glasionomerzemente ist auch nach mehrmals wiederholter Fluoridapplikation reproduzierbar (Hatibovic-Kofman et al. 1997, Knop et al. 2003). Über die Konstanz der abgegebenen Fluoridmenge durch Füllungsmaterialien wird konträr diskutiert (De Witte et al. 2000).

Durch eine regelmäßige Fluoridierung, die zweimal täglich stattfinden sollte, kann die Fluoridabgabe aus einem 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, Gandolfi et al. 2006).

In-vivo allerdings 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).

## **2.4 Effekte der Fluoridabgabe aus Glasionomerzementen und der lokalen Fluoridierungsmaßnahmen auf Zahnschmelz**

### **2.4.1 Effekte der Fluoridabgabe aus Glasionomerzement**

Die durch Füllungsmaterial abgegebenen Fluoridionen können dem benachbarten Zahnschmelz zur Verfügung stehen. Der einer Glasionomerzementfüllung benachbarte Zahnschmelz zeigt einen signifikanten Fluoridanstieg. Der Fluoridgehalt erhöht sich unabhängig vom bereits vorhandenen Fluoridgehalt; die Menge an Fluorid und auch die Eindringtiefe nehmen zu. So war bei einer Untersuchung am Schmelz, auf dem Brackets mit Glasionomerzement befestigt wurden, der Fluoridgehalt nach 40 bis 80 Tagen signifikant gestiegen. Nach 10 Tagen konnte ein Fluoridgehalt von 0,1255 Gew.-% und nach 80 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 Glasionomerzement hat also einen lokalen kariostatischen Effekt (Twetman et al. 1997).

Im Dentin ist ebenfalls neben und unter der Füllung eine signifikante Fluoridanreicherung durch lichthärtenden Glasionomerzement zu verzeichnen. Die Fluoridkonzentration nimmt auch hier mit Vergrößerung des Abstandes zu der Füllung ab (Mukai et al. 1993).

Die Abgabe von Fluoridionen aus verschiedenen Füllungsmaterialien ist unterschiedlich hoch. Genauso unterschiedlich ist auch die Fluoridmenge, die sich aus verschiedenen Zementen am Zahnschmelz an- bzw. einlagert.

Das Risiko der Sekundärkaries kann möglicherweise durch eine Füllung mit Glasionomerzement minimiert werden, denn in-vitro kann unter kariesfördernden Bedingungen eine Glasionomerzementfüllung den Kavitätenrand vor Demineralisation schützen (Staehele und Bößmann 1984).



Unter günstigen In-vitro-Bedingungen sind die aus einer Glasionomerzementfüllung abgegebenen Fluoridionen sogar fähig, initialkariöse Läsionen am Nachbarzahn zu remineralisieren. 62% artifizieller Läsionen zeigten in einer Studie eine quantitative Reduktion des Läsionskörpers von durchschnittlich 43% 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).

Auch unter einer Plaqueschicht können die von Glasionomerzement abgegebenen Fluoridionen eine initialkariöse Läsion bis zu einem bestimmten Grad remineralisieren, während sich 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. Die Säureresistenz des Zahnschmelzes wird unter kariesfördernden Bedingungen geringer. Eine neue Glasionomerzementfüllung verhindert jedoch 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 bei 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 oder Speichel. So geben frisch gelegte Glasionomerzementfüllungen ausreichende Fluoridmengen ab, um den durch *Streptococcus mutans* verursachten pH-Wert-Abfall zu verringern und somit einen antikariogenen Effekt zu erzielen. Bei alten Glasionomerzementfüllungen 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) 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, mikroskopisch betrachtet, 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).

In einer weiteren Studie wurde 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. Nach einem halben Jahr war das Bakterienwachstum wieder auf 95% der zu Studienbeginn gemessenen Menge angestiegen (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 letztlich die Untersuchungen an Probanden nur einen kleinen Teil der im Laborversuch gewonnenen Ergebnisse bestätigen können.

Forsten (1998) führte 1991-1992 eine Umfrage unter Zahnärzten und Zahnärztinnen durch, um die Frage, ob ein Auftreten von Karies oder Gingivitis in Zusammenhang mit Glasionomerzementfüllungen oder Kompositfüllungen beobachtet wurde, zu klären. Die Mehrheit der Antworten zeigten, dass im Zusammenhang mit Glasionomerzement nie oder selten Karies oder Gingivitis beobachtet wurde, bei Kompositen hingegen schon.

In einer Studie über die Befestigung kieferorthopädischer Brackets konnte bei einem Vergleich von Glasionomerzement und fluoridfreiem Komposit eine Kariesreduktion ermittelt werden, die eindeutig auf die Fluoridfreisetzung des Glasionomerzementes zurückzuführen war (Twetman et al. 1997).

Nach dem Legen von einer bis sechs neuen 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 bleibt die Konzentration der Fluoridionen im Speichel jedoch deutlich erhöht. Anfängliche Unterschiede der einzelnen Glasionomerzemente in ihrem Fluoridabgabeverhalten werden im Laufe der Zeit immer geringer, wie auch die Quantität der abgegebenen Fluoridionen (Koch und Hatibovic-Kofman 1990). Die Konzentration der Fluoridionen im Speichel ist nach einem Jahr jedoch immer noch erhöht und die Konzentration ist von 0,02-0,03 ppm vor dem Legen der Füllung auf 0,05 ppm nach einjährigem Verbleib der Füllung gestiegen (Hatibovic-Kofman und Koch 1991).

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

Seppä et al. (1992) erzielten hingegen durch das Legen einer Glasionomerzementfüllung keinen Effekt auf die Fluoridkonzentration in der Plaque nahe der Füllung. Auch ein Anstieg des Fluoridgehaltes in gesundem oder angeätztem Schmelz konnte nicht festgestellt werden. Eventuell ist bei dieser In-vivo-Studie jedoch durch eine weitere individuelle Fluoridierungsmaßnahme der Probanden der Effekt der Füllung überlagert worden.

#### **2.4.2 Effekte der lokalen Fluoridierungsmaßnahmen**

Über die Wirkungsweise von Fluorid aus Zahnpasten, Mundspüllösungen und Gelees gibt es neben den Laborstudien auch zahlreiche klinische Studien. Von

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

Viele In-vitro-Studien beschäftigen sich mit den einzelnen Fluoridverbindungen und deren Auswirkung auf den Zahnschmelz. Aminfluorid ist dabei die Verbindung, die die besten Fluoridierungsergebnisse erzielt (Mühlemann et al. 1967, Barbakow 1983, Bánóczy et al. 1989, Schmeiser und Strübig 1990, Gülzow 1995, Klimek et al. 1998, Hellwig et al. 1999).

In weiteren In-vitro-Studien konnte ebenfalls gezeigt werden, dass fluoridhaltige Zahnpasten einen signifikanten Fluorideinbau in den Schmelz nach sich ziehen (Gülzow et al. 1993, Klimek et al. 1998,). Die Fluorideinlagerung ist bei einer aminfluoridhaltigen Zahnpasta signifikant größer als bei einer Natriumfluorid enthaltenden Pasta (Klimek et al. 1998). Beide Verbindungen führen zu einer  $\text{CaF}_2$ -Deckschicht (Klimek et al. 1998).

In demineralisiertem Schmelz von Rinderzähnen kommt es schon bei relativ geringen umgebenden Fluoridkonzentrationen zu einer hohen und stabilen Anreicherung von Fluorid, (Hellwig und Klimek 1984). Dabei ist eine Korrelation der Anreicherung zu der Konzentration der angewendeten Fluoridverbindung zu erkennen. Eine Erhöhung der Konzentration einer applizierten Natriumfluoridlösung von 200 ppm auf 2000 ppm bewirkt eine erhebliche Erhöhung im Oberflächenschmelz ohne gleichmäßige Tiefenpenetration. Das deutet auf die bevorzugte Bildung einer  $\text{CaF}_2$ -Deckschicht hin (Hellwig und Klimek 1984).

Wird gesunder Schmelz oder 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.

Auch klinische Studien bestätigen die im Laborversuch gewonnenen Ergebnisse. Aminfluoridhaltige Präparate wie Zahnpasta, Lösungen oder Gelees können in Abhängigkeit von der Konzentration zu signifikanten Veränderungen bezüglich der Säurelöslichkeit des Oberflächenschmelzes und der Fluorideinlagerung im Schmelz führen (Barbakow 1983, Bánóczy et al. 1989, Schmeiser und Strübig 1990).

In einer Untersuchung, die drei Jahre überwacht mit 11-bis 12-jährigen Kindern durchgeführt wurde, konnte durch eine 0,22% NaF enthaltende Zahnpasta eine Kariesreduktion von bis zu 48,3% erreicht werden (Koch 1967). Weitere Studien belegen mit einer Kariesreduktion von 41-51% die kariesprotektive Wirksamkeit natriumfluoridhaltiger Zahnpasta (Jensen und Kohout 1988). Auch unkontrollierter Gebrauch einer natriumfluoridhaltigen Zahnpasta bewirkt eine Reduzierung des Karieszuwachses. Eine Studie an Kindern in Ohio ergab, dass bei unkontrollierten Mundhygienemaßnahmen mit einer Natriumfluorid enthaltenden Zahnpasta eine Kariesreduktion, im Vergleich zu fluoridfreier Zahnpasta, von 40% erreicht werden kann (Zacherl 1981). Weitere Studien mit erwachsenen Probanden bestätigen die Ergebnisse. So 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).

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

Glasionomierzemente sind in der Lage, Fluorid abzugeben und auch durch fluoridhaltige Präparate wieder aufzunehmen. Die Ausprägung dieser Eigenschaften ist von mehreren Faktoren abhängig. Der Fluoridumsatz wird durch die Zusammensetzung des Materials selbst und durch äußere Faktoren wie Eigenschaften des Speichels und des umgebenden Milieus bestimmt. Das aus dem

Glasionomierzement abgegebene Fluorid führt in vitro zu einer Fluoridein- und Fluoridauflagerung im und am Oberflächenschmelz. Dies entspricht prinzipiell den Effekten an der Schmelzoberfläche nach lokalen Fluoridierungsmaßnahmen wie der Anwendung fluoridhaltiger Zahnpasta, Mundspüllösungen oder Gelees. Allerdings scheinen die Effekte nach lokaler Fluoridapplikation deutlicher ausgeprägt zu sein als nach dem Legen von Glasionomierzementfüllungen. Vor diesem Hintergrund stellt sich die Frage, in welchem Ausmaß sich die Fluoridein- und -auflagerungen in und an der Oberfläche des Zahnschmelzes infolge regelmäßiger Wiederaufladung des Glasionomierzementes von dem Effekt der direkten lokalen Fluoridapplikation auf den Schmelz unterscheiden.

### 3 Material und Methode

#### 3.1 Zahnmaterial

Für die Untersuchung wurden Schmelzproben aus retinierten, menschlichen dritten Molaren verwendet, deren Wurzelwachstum bereits abgeschlossen war. Nach der Extraktion wurden die Zähne in Wasser gelagert. Die Reinigung erfolgte mit einem Skalpell und 3%-iger Wasserstoffperoxidlösung. Zur Untersuchung wurden nur Zähne verwendet, die keine Schmelzdefekte aufwiesen. Zähne, deren Schmelzoberflächen Beschädigungen aufwiesen, wurden aussortiert.

Mit einer diamantierten Trennscheibe wurden aus den Zähnen 72 rechteckige Schmelzproben herausgetrennt. Die Größe der Schmelzplättchen betrug mindestens 3 x 4 mm, die Oberfläche war nur schwach gewölbt. Die Schmelzproben wurden mit einer Schieblehre vermessen. Aus den vier Kantenlängen wurde die Fläche berechnet.

Es wurden je nach Größe der retinierten dritten Molaren mindestens zwei bis höchstens vier Schmelzplättchen präpariert. Eines diente später zur Kontrolle der Fluoridbestimmung, die anderen wurden den Untersuchungsgruppen zugeteilt. Dabei standen den Kontrollplättchen 36 Testplättchen gegenüber. Die Kontrollplättchen wurden bis zur Fluoridbestimmung in einer feuchten Kammer gelagert.

#### 3.2 Glasionomerzement

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

Inhaltsstoffe der Kapsel sind Pulver, welches aus Calcium-aluminium-fluorsilikat-Glas besteht, und Flüssigkeit, die sich aus Acrylsäure-Maleinsäurecopolymer, Weinsäure, Benzoesäure und Wasser zusammensetzt.

### **Herstellung der Proben**

Zur Herstellung der Materialproben wurden handelsübliche Trinkstrohhalm aus Plastik mit einem Durchmesser von 5 mm in 36 3 cm lange Stücke geschnitten. Zur Differenzierung der einzelnen Versuchsgruppen wurden unterschiedliche Farben verwendet. Auf die eine Stirnseite der Halmstücke wurde mit Modellier- und Gusswachs (Prepon, Bayer Dental, Deutschland, Lanzetten grün) jeweils ein Schmelzplättchen fixiert und eingebettet, so dass nur noch die zu untersuchende Schmelzoberfläche frei lag. An die Stirnseite eines von 36 weiteren Halmstücken wurde eine Glasionomermaterialfüllung mit einer Stärke von ca. 2 mm gelegt. Nach Aktivierung der Kapsel wurde diese 10 Sekunden auf einem Rüttler gemischt (ESPE Capmix; Seefeld, Germany), in die Strohhalm eingebracht und dann abschließend mit einem Schaumstoffpellet geglättet.

Um die Stabilität der Plastikhalmstücke zu erhöhen, wurden diese anschließend von der noch offenen Stirnseite mit dem Prothesenkunststoff Palavit G (Heraeus Kuzer; Hanau, Deutschland) befüllt.

Anschließend wurde jeweils ein Probenstück mit einem Schmelzareal zusammen mit einem weiteren Probenstück, das an der Stirnseite eine Glasionomermaterialfüllungsprobe trug, in kleine Plastikgefäße (12ml; 40x23,5 mm; Sarstedt, Deutschland) fest oder herausnehmbar im Gefäßdeckel eingearbeitet. Hierbei wurden für zwei Untersuchungsgruppen die Schmelzprobe und die Füllungsprobe direkt nebeneinander im Deckel mit Palavit G fest fixiert; der Abstand in der Vertikalen betrug dabei ca. 4 mm. In einer weiteren Gruppe wurde ähnlich verfahren; die Schmelzproben blieben bei dieser Gruppe jedoch herausnehmbar in den Gefäßdeckel adaptiert (siehe Abbildung 1 und 2).



**Abbildung 1: Probenherstellung**



**Abbildung 2: Probenkörper mit benachbarter Schmelz- und Glasionomernzement-  
Probe**



Alle Kontrollplättchen wurden ebenfalls im Deckel von Plastikgefäßen mit Palavit G fixiert.

Die Proben wurden dann in einer feuchten Kammer bei 6 Grad Celsius bis zum Versuchsbeginn gelagert. Insgesamt waren somit 36 Proben mit benachbartem

Glasionomerzement und Zahnschmelz hergestellt worden. Weitere 36 Schmelzabschnitte dienten der Kontrolle zur Ermittlung der Fluoridaufnahme.

### 3.3 Lösung

Für die Fluoridierung wurde eine Natriumfluoridlösung verwendet, deren Konzentration auf 200 ppm festgelegt wurde, da dies in etwa der Konzentration eines Zahnpasta-Speichelgemisches beim Zähneputzen eines Erwachsenen entspricht (Fischer 2001).

Zur Herstellung der Fluoridlösung wurden 0,884 g Natriumfluorid in 2000 ml aqua bidest. gelöst.

### Künstlicher Speichel

Der künstliche Speichel wurde wie folgt hergestellt: 12,00 g KCl und 8,43 g NaCl wurden in 10 l Aqua bidest. gelöst, anschließend wurden 3,42 g  $K_2HPO_4 \times 3 H_2O$  hinzugefügt. Danach kamen 5,0 ml 1M HCl und 1,46 g  $CaCl_2$  hinzu (Matzker und Schreiber 1972). Der pH- Wert betrug 6,9.

### 3.4 Versuchsaufbau

Ziel der Studie war es, die Fluoridaufnahme von Zahnschmelz aus Glasionomerzement, aus regelmäßig „wiederaufgeladenem“ Glasionomerzement, sowie aus der „aufladenden“ Fluoridlösung zu vergleichen. Hierzu wurden die 36 Probenkörper auf 3 Untersuchungsgruppen aufgeteilt und unterschiedlichen Fluoridierungsprozessen zugeführt (Tabelle 1).

**Tabelle1: Fluoridierung der Probenkörper**

Gruppe A	keine Fluoridierung
Gruppe B	Schmelzproben nicht fluoridiert; Glasionomermaterialproben fluoridiert
Gruppe C	Schmelzproben und Glasionomermaterialproben fluoridiert

Die Proben wurden, mit Ausnahme der Gruppe A, über einen Zeitraum von 28 Tagen täglich morgens um 9 Uhr und abends um 18 Uhr für 3 Minuten fluoridiert. 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, um die Proben von Gruppe B und C zugleich fluoridieren zu können und damit eine einfachere Handhabung bei der Versuchsanordnung zu erlangen.

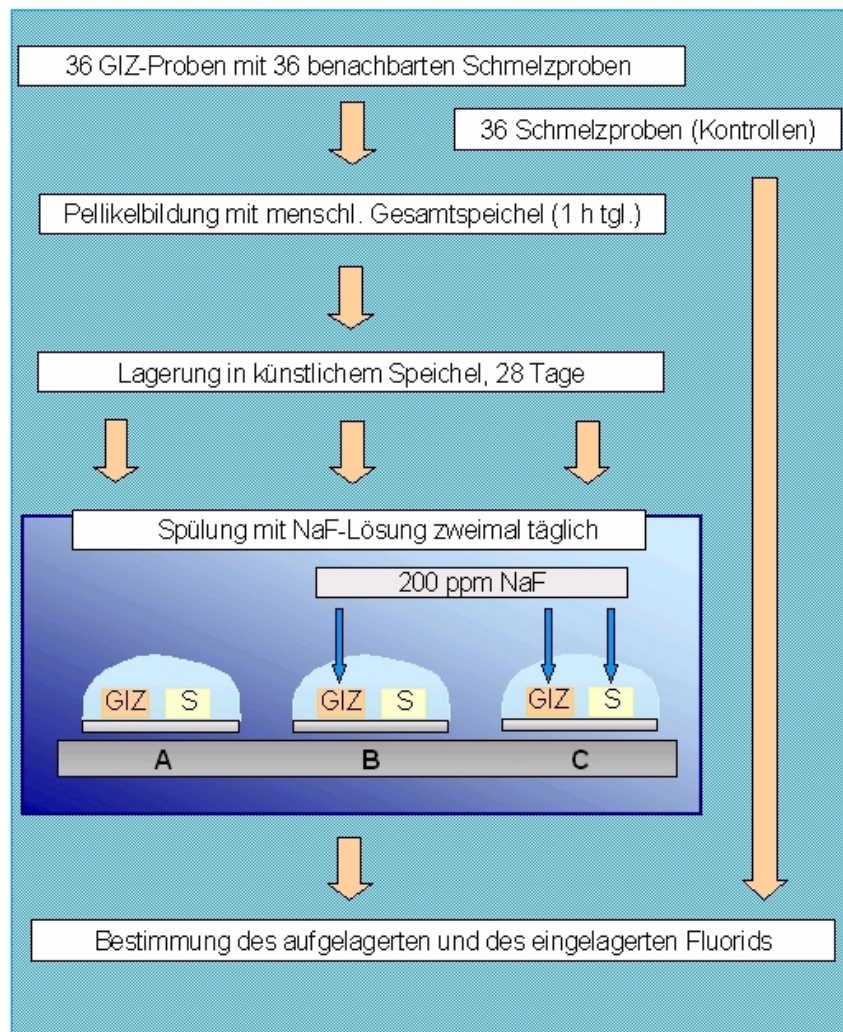
Alle Proben wurden täglich zunächst zur Pellikelbildung mit frischem humanen Speichel beschickt. Die Schmelzplättchen und Füllungen waren mit Speichel bedeckt und wurden so für eine Stunde in den Behältern belassen, da nach dieser Zeit die wichtigsten Faktoren der Pellikel entstanden und stabil sind.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

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

Auf einem Rüttler (Fa. Gerhardt, Motorstufe 1) wurde eine Kunststoffschale mit der 200-ppm-Natriumfluoridlösung zur Fluoridierung der Proben bereitgestellt. Es wurden 700 ml dieser Lösung verwendet und alle drei Tage gewechselt, um mögliche Verringerungen der Fluoridkonzentration durch Aufnahme in die Proben zu kompensieren.

Nach der Fluoridierung wurden die Proben für 30 Sekunden mit bidestilliertem Wasser gespült, um anschließend in die vorbereiteten Plastikbehälter mit dem künstlichen Speichel zurückgesetzt zu werden.

**Abbildung 3: Schematische Darstellung des Studienablaufes**

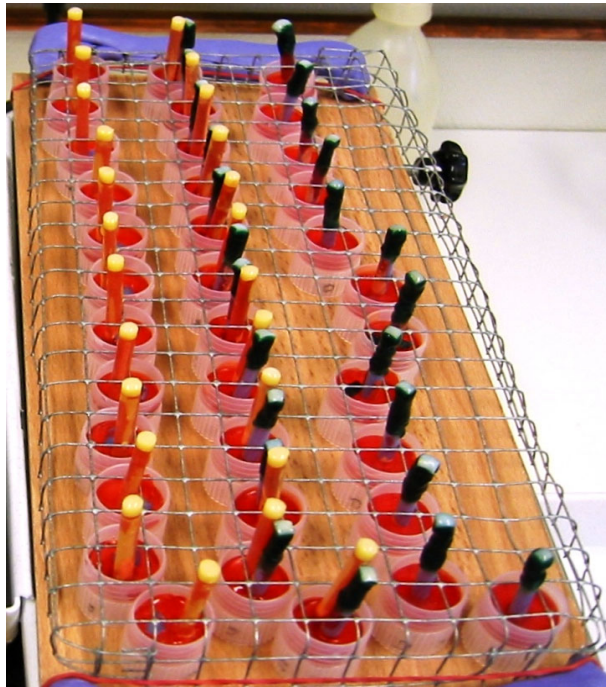


Die Probekörper von Gruppe A wurden nicht fluoridiert. Die Probekörper von Gruppe B und C hingegen wurden wie beschrieben regelmäßig mit der 200-ppm-Natriumfluoridlösung fluoridiert. Während dies für Gruppe C sowohl für die Glasionomerzement- als auch für die Schmelzareale zutrifft, wurden in Gruppe B nur die Glasionomerzementanteile fluoridiert. Hierzu wurden vor der Fluoridierung die Schmelzproben aus ihrer Verankerung im Lagergefäß entfernt, und nur die

verbleibende Materialprobe wurde fluoridiert. Später wurde die Schmelzprobe wieder in ihrer Position neben der Glasionomerzementprobe verankert.

Anschließend erfolgte die Lagerung der Proben in einem Schüttelwasserbad bei 37° Celsius bis zur nächsten Fluoridierung nach 9 Stunden am selben Tag. Die Proben wurden ab Versuchsbeginn in einem Schwenkwasserbad der Firma GFL bei einer Temperatur von 37 Grad Celsius und einer Schwenkbewegung von 17% gelagert. Die Kontrollen wurden nicht behandelt und bis zu den Fluoridbestimmungen bei 6°C in einer feuchten Kammer gelagert.

**Abbildung 4: Die zur Fluoridierung vorbereiteten Proben auf dem Rüttler**



### 3.5 Fluoridbestimmung auf dem Schmelz

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 (Caslavská et al. 1975). Eine Modifikation der Methode zur Bestimmung des Kalziumfluorids auf dem Schmelz beschrieben Dijkman und Mitarbeiter (1982).

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, Burgwedel, Deutschland) 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 dann kurz mit Aqua dest. abgespült und zur weiteren Analyse in einer feuchten Kammer aufbewahrt. Die Lagerung der Proben erfolgte bei 6°C.

Die Fluoridkonzentration in der Lösung wurde mit der Fluoridelektrode (Thermo Orion 9609 BN) und einem Digital-pH/mV-Meter (Orion Research Inc.; model 720 A) gemessen. Unter ständigen Rührbewegungen durch einen Magnetrührer wurde die Spannung nach 8 Minuten in relativen mV abgelesen. Anhand der zuvor erstellten Eichkurve konnte die jeweilige Konzentration ( $\mu\text{g F}^- / \text{ml}$ ) der Proben abgelesen werden.

Für die Erstellung der Eichkurve wurden folgende Lösungen angesetzt:

Fluoridstandardlösung  $25\mu\text{g F}^- / \text{ml} = 55,275 \text{ mg Natriumfluorid (NaF) / 1000 ml}$   
Aqua bidest.

1 molare Trinatriumcitrat-2-hydrat-Lösung ( $\text{C}_6\text{H}_5\text{Na}_3\text{O}_7 \times 2\text{H}_2\text{O}$ )

1 molare Salpetersäure ( $\text{HNO}_3$ )

1 molare Kalilauge (KOH)

Hieraus wurden verschieden konzentrierte Eichlösungen hergestellt:

0,1 ml Fluoridstandardlösung ad 250 ml = 0,01  $\mu\text{g F}^- / \text{ml}$

0,2 ml Fluoridstandardlösung ad 250 ml = 0,02  $\mu\text{g F}^- / \text{ml}$

0,5 ml Fluoridstandardlösung ad 250 ml = 0,05  $\mu\text{g F}^- / \text{ml}$

1,0 ml Fluoridstandardlösung ad 250 ml = 0,10  $\mu\text{g F}^- / \text{ml}$

5,0 ml Fluoridstandardlösung ad 250 ml = 0,50  $\mu\text{g F}^- / \text{ml}$

10,0 ml Fluoridstandardlösung ad 250 ml = 1,00  $\mu\text{g F}^- / \text{ml}$

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. In jeder Lösung erfolgte die Fluoridbestimmung dreifach.

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

Die Fluoridbestimmung der mittels KOH gelösten Deckschicht erfolgte bei einer Raumtemperatur von durchschnittlich 26°C, welche auch bei dem Digital-pH/mV-Meter eingestellt wurde. Zu Beginn jeder neuen Gruppe und nach jeder 4. Messung erfolgte eine Kalibrierung des Messgerätes mit der Fluorideichlösung (0,1  $\mu\text{g Fluorid/ml}$ ) auf 78 mV, um eine Verschiebung der Messwerte zu verhindern. Zusätzlich wurde zur Überprüfung der Funktionstüchtigkeit der Fluoridelektrode an jedem Tag, gemäß Herstellerangaben, die Steilheit der Eichkurve nach Einbringen in Eichlösungen bestimmt.

Die Fluoridkonzentration, die durch die Eichkurve ermittelt wurde, wurde mit dem Faktor 4,5 (entsprechend des Volumens der Probe) multipliziert, um die gesamte in der Probe enthaltene Fluoridmenge zu erhalten. Diese Fluoridmenge wurde anschließend auf die Schmelzfläche bezogen ( $\mu\text{g F}^- / \text{cm}^2$ ):

Fluoridmenge auf einem  $\text{cm}^2$  Schmelz:

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

### 3.6 Bestimmung der Fluoridkonzentration im Schmelz

Zur Bestimmung des Fluoridgehaltes im Schmelz wurde die 1968 von McCann angegebene Methode angewendet. Hierzu wurde die Schmelzoberfläche mittels Perchlorsäure in einer Schicht abgeätzt. Mit der fluoridsensitiven Elektrode ist die Bestimmung der in Lösung gegangenen Fluoridionen möglich. Mittels Phosphatbestimmung lässt sich die abgeätzte Schmelzmenge bestimmen. Durch anschließende Berechnung kann der Fluoridgehalt im Schmelz ermittelt werden.

Die Schmelzplättchen wurden für die Fluoridbestimmung im Schmelz genau 60 Sekunden in 1ml 0,5M Perchlorsäure geschwenkt, die zuvor in kleine Kunststoffbecher (12ml; 40x23,5 mm; Sarstedt, Deutschland) pipettiert wurde. Nach Ablauf der Zeit wurden die Proben mit 4 ml 1,5M Trinatriumcitrat-Dihydrat neutralisiert, und die Reaktion wurde gestoppt. Jede Probe wurde einzeln behandelt, um die genaue Zeit einzuhalten.

Die Fluoridbestimmung erfolgte mit der gleichen Elektrode und dem gleichen Messgerät wie die Fluoridbestimmung auf dem Schmelz.

Es wurden folgende Agenzien verwendet:

0,5 M Perchlorsäure: 43 ml 70-72%  $\text{HClO}_4$  ad 1000 ml Aqua bidest.

1 M Trinatriumcitrat: 294,10 g Trinatriumcitrat ad 1000 ml Aqua bidet.

25  $\mu\text{g}$  Fluoridstandard: 55,25 mg NaF ad 1000ml Aqua bidest.



Zunächst musste eine neue Eichkurve erstellt werden, um die Fluoridkonzentration bestimmen zu können. Hierzu wurde folgende Verdünnungsreihe mit Aqua bidest. hergestellt:

12,0 ml F<sup>-</sup>-Standard + 50 ml 0,5 m HClO<sub>4</sub> + 100 ml 1M Trinatriumcitrat ad 250 ml =  
6,0 µg/5 ml

8,0 ml F<sup>-</sup>-Standard + 50 ml 0,5 m HClO<sub>4</sub> + 100 ml 1M Trinatriumcitrat ad 250 ml =  
4,0 µg/5 ml

4,0 ml F<sup>-</sup>-Standard + 50 ml 0,5 m HClO<sub>4</sub> + 100 ml 1M Trinatriumcitrat ad 250 ml =  
2,0 µg/5 ml

2,0 ml F<sup>-</sup>-Standard + 50 ml 0,5 m HClO<sub>4</sub> + 100 ml 1M Trinatriumcitrat ad 250 ml =  
1,0 µg/5 ml

2,0 ml F<sup>-</sup>-Standard + 100ml 0,5 m HClO<sub>4</sub> + 200 ml 1M Trinatriumcitrat ad 500 ml =  
0,5 µg/5 ml

0,5 ml F<sup>-</sup>-Standard + 50 ml 0,5 m HClO<sub>4</sub> + 100 ml 1M Trinatriumcitrat ad 250 ml =  
0,25 µg/5 ml

0,5 ml F<sup>-</sup>-Standard + 100ml 0,5 m HClO<sub>4</sub> + 200 ml 1M Trinatriumcitrat ad 500 ml =  
0,125 µg/5 ml

0,2 ml F<sup>-</sup>-Standard + 100ml 0,5 m HClO<sub>4</sub> + 200 ml 1M Trinatriumcitrat ad 500 ml =  
0,05 µg/5 ml

Für die Erstellung der Eichkurve wurden 5 ml der Verdünnungslösungen in Kunststoffbecher pipettiert. Die Messung erfolgte für jede Konzentration dreimal, gemessen wurde unter ständigem Rühren mit dem Magnetprüher für jeweils 8 Minuten. Die Raumtemperatur betrug dabei durchschnittlich 26°C. Anhand der Mittelwerte der einzelnen Konzentrationen wurde die Eichkurve erstellt. Diese wurde halblogarithmisch aufgetragen: die Fluoridkonzentration (µg F<sup>-</sup> / 5 ml) semilogarithmisch und die Potentialdifferenz (rel. mV) dekadisch.

Nach der Erstellung der Eichkurve wurde die Fluoridkonzentration in jeweils 5 ml der vorbereiteten abgeätzten Schmelzproben und den dazugehörigen Kontrollproben gemessen. Die Messungen erfolgten wieder unter ständigem Rühren mit dem Magnetprüher für jeweils 8 Minuten bei einer durchschnittlichen

Temperatur von 26°C. Nach jeder 6. Messung erfolgte die Kalibrierung des Gerätes mit der Standardfluoridlösung (1,0 µg F- / 5 ml). Die Fluoridkonzentrationen der gesamten Proben wurden anschließend unter Zuhilfenahme der Eichkurve in µg F- / 5 ml ermittelt.

Die Schmelzmenge, die durch die Perchlorsäure abgeätzt wurde, ist 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).

Für die Feststellung dieser Werte wurde eine weitere Eichkurve erstellt. Hierzu wurde eine 100 µg P / ml Phosphatstandardlösung hergestellt: 219,6 mg KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> wurden ad 500 ml Aqua bidest. gelöst. Verwendet wurde dann eine Verdünnung der Phosphatstandardlösung von 1:10 und 1:5:

Eichlösung 0,1 ml 1:10 verdünnter P-Standard + 0,7 ml Aqua bidest.

Eichlösung 0,2 ml 1:10 verdünnter P-Standard + 0,6 ml Aqua bidest.

Eichlösung 0,5 ml 1:10 verdünnter P-Standard + 0,3 ml Aqua bidest.

Eichlösung 0,7 ml 1:10 verdünnter P-Standard + 0,1 ml Aqua bidest.

Eichlösung 0,5 ml 1:5 verdünnter P-Standard + 0,3 ml Aqua bidest.

Anschließend wurden 0,2 ml eines Gemisches aus 80% 0,5M Trinatriumcitrat und 20% 0,5M Perchlorsäure zu den Verdünnungen pipettiert.

Daraus entstanden die Verdünnungen von 1, 2, 5, 7 und 10 µg P / ml.

Für die Phosphatbestimmung der abgeätzten Schmelzproben wurden folgende Agenzien hergestellt:

- Veraschungsgemisch: 278 ml konz. H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (d= 1,84) und 65 ml 70%ige HClO<sub>4</sub> (d= 1,67) wurden mit Aqua bidest. ad 1000 ml aufgefüllt

- mind. 65% HNO<sub>3</sub>

- NH<sub>4</sub> – Molybdatreagenz: 10,62 g NH<sub>4</sub> – Molybdat\*4H<sub>2</sub>O und 90,20 g CH<sub>3</sub>COONa\*3 H<sub>2</sub>O wurden ad 4000 ml gelöst

Für die Phosphatbestimmung wurden aus den Proben (Lösungen des abgeätzten Schmelzes) 0,2 ml entnommen und in Reagenzgläser pipettiert. Dann wurde in jede Probe 0,5 ml Veraschungsgemisch pipettiert. Anschließend wurden alle Proben für eine Stunde im Veraschungsgerät bei 120°C und danach zwei Stunden bei 160°C verascht. Dann wurden zu jeder Probe zwei Tropfen HNO<sub>3</sub> gegeben und nochmals eine weitere Stunde verascht.

Nach dem Abkühlen der Proben wurden je 0,5 ml Aqua bidest. zugegeben. Die Lösung wurde dann für 10 Minuten in einem Wasserbad gekocht.

Währenddessen wurden 4 g Ascorbinsäure ad 40 ml Aqua bidest. gelöst. Nach dem erneuten Abkühlen der Proben wurde die Ascorbinsäurelösung zu 400 ml NH<sub>4</sub> – Molybdatreagenz gegeben. 5,0 ml von diesem Gemisch wurden dann in alle Proben pipettiert und anschließend nochmals für eine Stunde in einem Schwenkwasserbad bei 37°C gelagert.

Danach erfolgte die sofortige Bestimmung des Phosphatgehaltes der Proben in einem Spektralphotometer (Shimadzu, Japan) bei einer Wellenlänge von 578 nm gegen den Reagenzienblindwert.

Die Bestimmung des Phosphatgehaltes erfolgte durch eine aus der betreffenden Eichkurve abgeleiteten Formel. Durch das Auftragen der Extinktion gegen den Phosphatgehalt ergibt sich eine lineare Funktion, die durch die folgende Formel beschrieben wird:

$$\text{m Phoshat } (\mu\text{g}) = \frac{\text{Extinktion} - 0,000909}{0,039118} \mu\text{g}$$

### 3.7 Bestimmung der Ätztiefe

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

$$m \text{ Schmelz} = m \text{ Phosphat} \times \frac{100}{17,45}$$

Für die Fluoridkonzentration im Schmelz ergibt sich daraus:

$$\begin{aligned} \frac{m \text{ Phosphat}}{m \text{ Schmelz}} &= \frac{m \text{ Fluorid} * 17,45\%}{m \text{ Phosphat} * 100\%} \Rightarrow \text{ppm Fluorid} \\ &= \frac{\mu\text{g Fluorid} * 10^6}{\mu\text{g Schmelz}} = \frac{\mu\text{g Fluorid} * 17,45\% * 10^6}{\mu\text{g Phosphat} * 100\%} = \frac{\mu\text{g Fluorid} * 17,45 * 10^4}{\mu\text{g Phosphat}} \end{aligned}$$

Mit Hilfe der Dichte des Zahnschmelzes ( $\rho_{\text{Schmelz}}=3,1\text{mg/mm}^3$ ) und der ausgemessenen Fläche der Schmelzproben  $A_{\text{Plättchen}}$  wurde die Ätztiefe  $h$ , aus der die zuvor errechneten ppm Fluorid stammen, bestimmt:

Es gilt:

$$h = \frac{\text{Volumen}}{\text{Fläche } A}$$

$$\text{Volumen Schmelz} = \frac{\text{gelöste } \mu\text{g}}{3,1}$$

$$\rightarrow h = \frac{m \text{ Schmelz}}{\rho \text{ Schmelz} * A_{\text{Plättchen}}}$$

Die sich aus dieser Berechnung ergebende Ätztiefe in mm wurde in  $\mu\text{g}$  umgerechnet.

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

### 3.8 Statistik

Für alle Versuchsreihen wurden die Mittelwerte und die Standardabweichungen 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 Fluoridaufnahmen 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, dass die Gruppen die gleiche Verteilung aufweisen gegenüber der 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.

Zur statistischen Auswertung wurde mit dem Statistikprogramm SPSS 11.5 (SPSS Inc.) gearbeitet.

#### 4. Ergebnisse

Die Ergebnisse stellen den Fluoridgehalt und die Fluorid Aufnahme im und auf dem Zahnschmelz nach 28-tägiger Versuchsdauer in Form von Tabellen und Graphiken dar. Zunächst wird die Fluorid Aufnahme in den Versuchsgruppen durch den Vergleich des Fluoridgehaltes bzw. der Fluoridmenge in und auf dem Schmelz von Test- und Kontrollplättchen ermittelt. Anschließend werden die Fluorid Aufnahmen 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:

- Gruppe A: Glasionomerzementprobe und Schmelzplättchen sind zusammen fixiert, beide werden nicht fluoridiert
- Gruppe B: Glasionomerzementprobe und Schmelzplättchen sind voneinander trennbar angebracht, nur die Füllung wird fluoridiert
- Gruppe C: Glasionomerzementprobe und Schmelzplättchen sind zusammen fixiert, beide werden fluoridiert

Die einzelnen Werte für ein- und aufgelagertes Fluorid sind im Anhang aufgeführt.

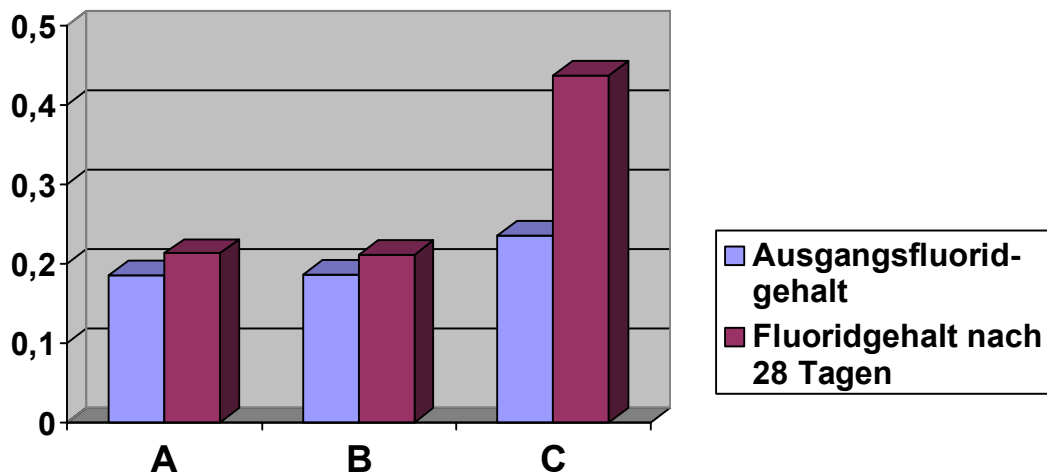
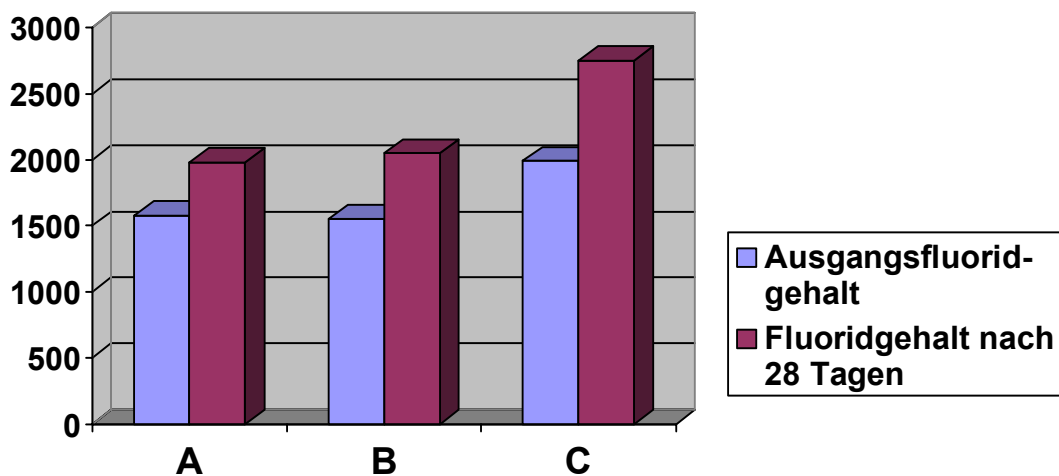
#### 4.1 Ausgangs- und Endfluoridgehalte der Schmelzproben

In Tabelle 2 sind die auf- und eingelagerten Fluoridgehalte der Schmelzproben zu Beginn (Kontrollplättchen) und nach Beendigung (Testplättchen) der experimentellen Phase für die Gruppen A bis C dargestellt. Es ist ersichtlich, dass die Fluoridgehalte in Gruppe C zu Versuchsbeginn höher sind als die in den übrigen Gruppen, wobei für das eingelagerte Fluorid Signifikanzniveau erreicht wird (Kruskal-Wallis-Test). Zum Versuchsende ist der Fluoridgehalt in allen Gruppen angestiegen. Dabei unterscheidet sich der Endfluoridgehalt auf und im Zahnschmelz im Vergleich aller drei Gruppen signifikant (Tabelle 2).

**Tabelle 2: Fluoridgehalte der Schmelzplättchen vor und nach unterschiedlicher Fluoridexposition**

Gruppe	Aufgelagertes Fluorid ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ )		Eingelagertes Fluorid (ppm)	
	Kontrollplättchen	Testplättchen	Kontrollplättchen	Testplättchen
A	$0,18 \pm 0,04$	$0,21 \pm 0,14$	$1579 \pm 497$	$1979 \pm 688$
B	$0,19 \pm 0,07$	$0,21 \pm 0,10$	$1551 \pm 389$	$2049 \pm 352$
C	$0,24 \pm 0,04$	$0,44 \pm 0,13$	$1991 \pm 280$	$2748 \pm 729$
p (Kruskal-Wallis Test)	0,062	< 0,001	0,012	0,017

In Abbildungen 5 und 6 sind die Ergebnisse zum Fluoridgehalt in den Test- und Kontrollplättchen nach 28 Tagen graphisch dargestellt. Die im Vergleich zu den Gruppen A und B höhere Fluoridan- und einlagerung in Gruppe C ist deutlich zu erkennen.

**Abbildung 5: Fluoridmenge auf dem Zahnschmelz von Test- und Kontrollplättchen ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ )****Abbildung 6: Strukturell gebundenes Fluorid im Zahnschmelz von Test- und Kontrollplättchen (ppm)**

Die Ergebnisse der statistischen Überprüfungen der unterschiedlichen Fluoridgehalte zu Beginn und nach Beendigung der experimentellen Phase durch den Wilcoxon-Test, die die Fluorid Aufnahme in den jeweiligen Gruppen beurteilen, sind in Tabelle 3 wiedergegeben. Die Gehalte der Kontroll- und Testplättchen von Gruppe A unterschieden sich, trotz des höheren Fluoridgehaltes in den Test-Schmelzproben, statistisch in keinem Parameter voneinander, weder für Fluorid auf dem Schmelz noch für strukturell gebundenes Fluorid im Schmelz. Bei Gruppe B, bei der die benachbarte Glasionomerzementfüllung über 28 Tage zweimal täglich fluoridiert worden war, konnte für strukturell gebundenes Fluorid ein signifikanter



Unterschied ( $p = 0,005$ ) zwischen Proben und Kontrollen gefunden werden. In Gruppe C, in der sowohl die Füllungsproben als auch die Schmelzplättchen über 28 Tage fluoridiert worden waren, unterschieden sich die Proben von den Kontrollen sowohl für Fluorid auf und als auch im Zahnschmelz signifikant (Tabelle 3).

**Tabelle 3: Statistischer Vergleich der Fluoridgehalte von Test- und Kontrollplättchen (Wilcoxon-Test)**

Gruppen	Irrtumswahrscheinlichkeit p	
	Aufgelagertes Fluorid	Eingelagertes Fluorid
<b>A</b> <sub>Probe</sub> vs. <b>A</b> <sub>Kontrolle</sub>	0,937	0,084
<b>B</b> <sub>Probe</sub> vs. <b>B</b> <sub>Kontrolle</sub>	0,374	0,005
<b>C</b> <sub>Probe</sub> vs. <b>C</b> <sub>Kontrolle</sub>	0,002	0,003

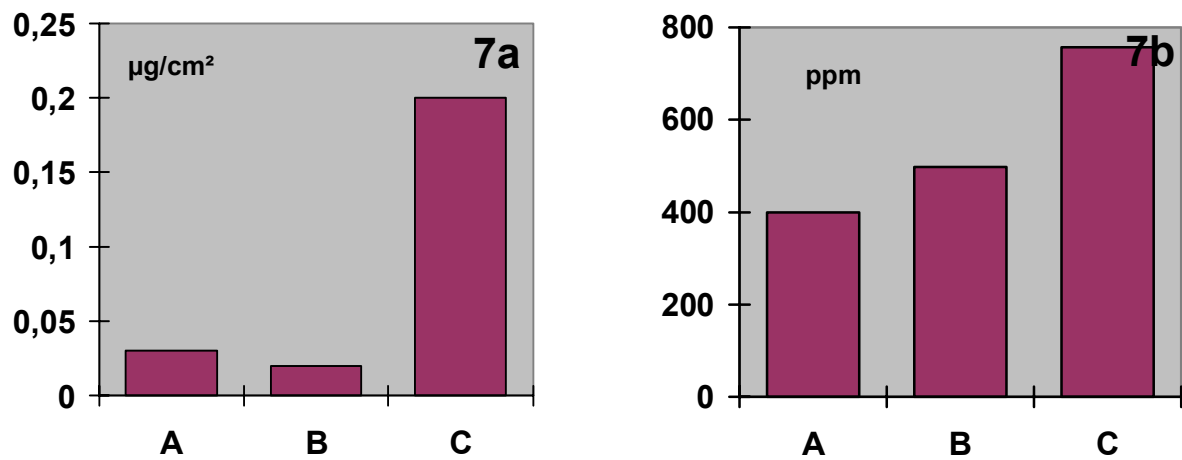
#### 4.2 Vergleich der Fluoridaufnahme auf und im Oberflächenschmelz nach unterschiedlicher Fluoridexposition

In Tabelle 4 ist die Fluoridaufnahme der Gruppen A bis C nach 28 Tagen für KOH-lösliches Fluorid und für strukturell gebundenes Fluorid im Schmelz dargestellt. Die angegebenen Werte ergeben sich durch Subtraktion der Kontrollwerte von den Probenwerten. In Abbildung 7 sind die Fluoridaufnahmen graphisch dargestellt.

**Tabelle 4: Fluoridaufnahme nach 28 Tagen (aufgelagertes und strukturell gebundenes Fluorid)**

Gruppe	Aufgelagertes Fluorid ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ )	Eingelagertes Fluorid (ppm)
<b>A</b>	$0,03 \pm 0,13$	$400 \pm 720$
<b>B</b>	$0,02 \pm 0,10$	$498 \pm 386$
<b>C</b>	$0,20 \pm 0,12$	$758 \pm 559$
p (Kruskal-Wallis-Test)	0,002	0,303

**Abbildung 7: Fluoridaufnahme nach 28 Tagen: aufgelagertes (7a) und strukturell gebundenes Fluorid (7b)**



Die höchsten Fluorid-Zugewinne wurden jeweils in Gruppe C ermittelt. Mit dem Kruskal-Wallis-Test konnten bezüglich der Anlagerung von Fluorid auf den Zahnschmelz im Vergleich der drei Gruppen A bis C signifikante Unterschiede festgestellt werden ( $p = 0,002$ ). Die Einlagerung strukturell gebundenen Fluorids in den Zahnschmelz unterscheidet sich zwischen den Gruppen A bis C hingegen statistisch nicht voneinander ( $p = 0,303$ ).

Um den Fluoridzugewinn in den einzelnen Gruppen paarweise gegeneinander auf statistisch signifikante Differenzen zu prüfen, wurde der Mann-Whitney-Test angewandt. In den Tabellen 5 und 6 sind die Ergebnisse des statistischen Vergleichs für die beiden Untersuchungsparameter dargestellt. Gruppe C unterscheidet sich bezüglich der Fluoridanlagerung hochsignifikant von Gruppe A und B (Tabelle 5). Bezüglich der Fluorideinlagerung sind keine signifikanten Differenzen zu ermitteln (Tabelle 6).

**Tabelle 5: Statistischer Vergleich der Zunahme auf dem Zahnschmelz angelagerten Fluorids bei paarweisem Gruppenvergleich (Irrtumswahrscheinlichkeiten  $p$ ; Mann-Whitney-Test)**

Gruppen	B	C
A	0,686	0,003
B	-----	0,003

**Tabelle 6: Statistischer Vergleich der Zunahme im Zahnschmelz eingelagerten Fluorids bei paarweisem Gruppenvergleich (Irrtumswahrscheinlichkeiten p; Mann-Whitney-Test)**

Gruppen	B	C
<b>A</b>	0,686	0,166
<b>B</b>	-----	0,225

### 4.3 Ätztiefen

Die Ätztiefen, die für die Bestimmung des strukturell gebundenen Fluorids erreicht wurden, schwanken für die Probenwerte zwischen  $1,43 \pm 0,26 \mu\text{m}$  und  $1,87 \pm 0,43 \mu\text{m}$ . Die Werte für die Ätztiefen der Kontrollen liegen im Bereich von  $1,76 \pm 0,35 \mu\text{m}$  und  $1,86 \pm 0,42 \mu\text{m}$ .

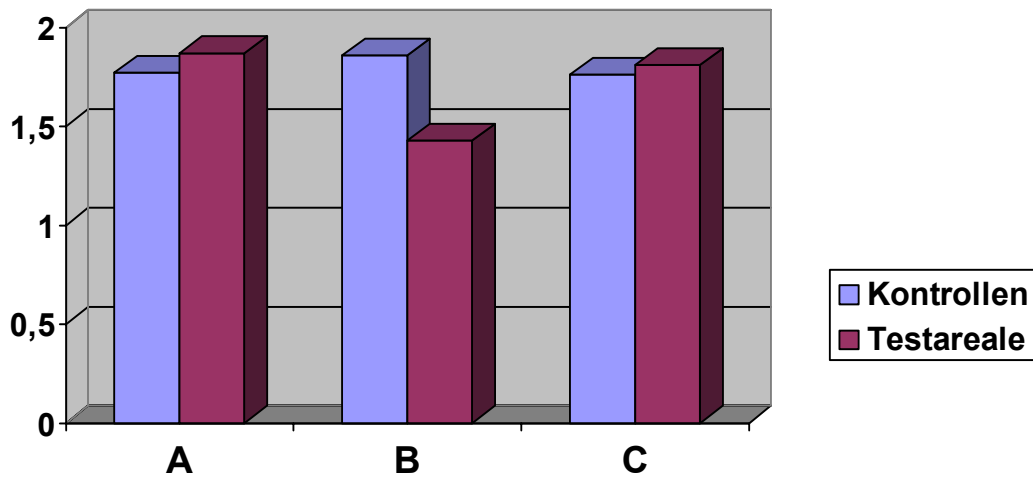
**Tabelle 7: Ätztiefen zur Bestimmung des strukturell gebundenen Fluorids**

	Ätztiefen ( $\mu\text{m}$ )			
	A	B	C	p (Kruskal-Wallis-Test)
Kontrollen	$1,77 \pm 0,65$	$1,86 \pm 0,42$	$1,76 \pm 0,35$	0,530
Proben	$1,87 \pm 0,43$	$1,43 \pm 0,26$	$1,81 \pm 0,30$	0,008
p (Wilcoxon-Test)	0,583	0,004	0,754	

Während die Fluoridbestimmung für die überwiegende Anzahl der Proben- und Kontroll-Schmelzabschnitte in der gleichen Schmelztiefe erfolgte, weicht die Bestimmung für die Proben-Abschnitte der Gruppe B hiervon ab. Diese Abweichung erreicht sowohl im Vergleich der Test- und Kontrollproben von Gruppe B untereinander (Wilcoxon-Test) als auch im Vergleich der Ätztiefen aller drei Proben-Gruppen (Kruskal-Wallis-Test) statistisches Signifikanzniveau (Tabelle 7).

Die graphische Darstellung in Abbildung 8 illustriert die geringere Ätztiefe in den Test-Schmelzarealen von Gruppe B.

**Abbildung 8: Ätztiefen bei der Bestimmung des strukturell gebundenen Fluorids in Kontroll- und Test-Schmelzarealen**



## 5. Diskussion

Fluorid ist der wichtigste Pfeiler der Kariesprophylaxe (Gülzow 1995). Eine besonders große Rolle spielt dabei die fluoridhaltige Zahnpasta, in der Fluorid in verschiedenen chemischen Verbindungen enthalten ist. 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 der Patienten, welche ein hohes Kariesrisiko auf sich vereinen, wird jedoch von den Prophylaxebemühungen offenbar nicht erreicht (Gülzow et al. 1996, Schiffner und Reich 1999a, Gülzow und Farshi 2000, Pieper 2005). Zudem ist nach wie vor auch bei den Erwachsenen eine starke Karieserfahrung anzutreffen (Schiffner und Reich 1999b). Ein Großteil dieser Karieserfahrung liegt zwar als restaurierte Läsion vor, doch birgt diese das Risiko von Sekundärkaries.

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

Mit der vorliegenden In-vitro-Studie sollte untersucht werden, inwieweit die aus einem Glasionomerkement stammende Erhöhung der Fluoridkonzentration in benachbartem Zahnschmelz durch regelmäßiges „Wiederaufladen“ des Füllungsmaterials gesteigert werden kann. Zugleich sollte beurteilt werden, in welchem Maße eine Erhöhung der Fluoridaufnahme infolge der Wiederaufladung gegenüber einer direkten Fluoridaufnahme aus einer fluoridhaltigen Spüllösung ins Gewicht fällt.

Dabei sollten klinische Aspekte wie die Mundhöhlenparameter Speichel, Pellikel, Temperatur und die durchschnittliche Putzdauer in der Versuchsanordnung möglichst gut simuliert werden.

## **5.1 Diskussion der Methodik**

Die Fluoridfreisetzung aus einem Glasionomerkement wurde bisher schon von vielen Autoren untersucht. Lagerungsmedium für diese Untersuchung 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 Glasionomerkementen 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 Mallakah 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 Glasionomerkementfüllung reduzieren.

Eine Vorbereitung der Proben mit humanem Speichel allein reduziert die Fluoridabgabe der Füllungsmaterialien. So kann durch die Pellikel eine Reduktion von bis zu 74% gegenüber der Abgabe von Fluorid in demineralisiertem Wasser auftreten (Damen et al. 1996). Auch der Wiederaufladeeffekt einer Glasionomerkementfüllung ist durch die Pellikel und durch künstlichen Speichel negativ beeinflusst; die Fluoridkinetik wird gehemmt (Regel 2003).

In der vorliegenden Studie sind die Kenntnisse zur Fluoridfreisetzung aus Glasionomerkementen berücksichtigt worden, indem im Versuchsmedium künstlicher Speichel gearbeitet wurde und eine 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 der 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 (Hannig 1994a, Damen et al. 1996). Für die Fluoridfreisetzung in den künstlichen Speichel aus den Glasionomermaterialfüllungen blieben somit nach der Pellikelbildung pro Tag insgesamt 23 Stunden.

Die Bildung einer Pellikel geht in vivo sehr schnell vonstatten, bereits nach wenigen Sekunden setzt die Adsorption von Speichelproteinen an der Festkörperoberfläche ein (Hannig 1994b). Innerhalb der ersten Stunde nehmen die sauren, prolinreichen Proteine zu; diese sind obligater Bestandteil der Pellikel (Hannig 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 der Pellikel auf die Kalziumfluorid-Deckschicht besteht Uneinigkeit. So zeigen die Ergebnisse von Cruz und Rölla (1991), dass eine künstlich erzeugte 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 sogar fest, dass in Anwesenheit von Speichel mehr Kalziumfluorid auf der Schmelzoberfläche entsteht, als im Versuchsmedium Wasser.

Petzold (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 Glasionomermaterial nicht nur abhängig vom Lagermedium, sondern auch vom pH-Wert ist. Die Fluoridabgabe ist in sauren Medien erhöht (Forsten 1991 und 1995, Saul 2002, Gandolfi et al. 2006).

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 Zyklus eine leicht erhöhte Fluoridkonzentration auf die Proben wirken konnte. Da alle Proben unter den gleichen experimentellen Bedingungen bezüglich des Speichelaustausches behandelt wurden, sind sie von dem fehlenden Entfernen durch Schlucken gleichermaßen betroffen 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. Diese Natriumfluoridlösung war mit einem Fluoridgehalt von 200 ppm Fluorid angesetzt. Dies entspricht der Konzentration eines durchschnittlichen Speichel-Zahnpasten-Gemisches während des Zähneputzens (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 nach einer einwöchigen Touchierung bei konventionellen und lichthärtenden Glasionomerzementen erzielt worden (Forsten 1995). Daher kann die untersuchte Fragestellung prinzipiell mit einer 200-ppm-Lösung überprüft werden.

Bei dem experimentellen Vorgehen konnten weder die Einwirkung 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 Glasionomerkement gemacht werden, sondern es interessierte, welche Auswirkungen die Fluoridabgabe aus dem Füllungsmaterial im Vergleich zum 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“ möglichst gut zu imitieren, dennoch aber eine experimentelle Trennung der Materialprobe und der Schmelzprobe zu ermöglichen.

Statistisch war auffällig, dass der Ausgangsfluoridgehalt der für die Untersuchung genutzten Schmelzproben unterschiedlich hoch war. Bei der Auswahl der Zähne, aus denen die Proben entnommen wurden, wurde darauf geachtet, dass nur solche verwendet wurden, die ein abgeschlossenes Wurzelwachstum aufwiesen und noch nicht in der Mundhöhle standen. Dieses Vorgehen sollte gewährleisten, dass die Plättchen annähernd den gleichen Fluoridgehalt aufwiesen und die Homogenität der Proben somit gesichert war. Die gemessenen Fluoridwerte der Kontrollproben zeigen jedoch, dass dieses nicht uneingeschränkt gelang. Mögliche Variablen, die den Ausgangsfluoridgehalt beeinflussen können, sind das Alter der Probanden bei der Zahnentnahme, frühere Expositionen gegenüber Fluoriden, Dauer und Methode der Biopsieentnahme, sowie die Schichttiefen der Fluoridbestimmung (Barbakow 1983). 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.

Der Fluoridgehalt einer unbehandelten Schmelzprobe enthält in einer Schicht von 2 µm unter der Schmelzoberfläche durchschnittlich 1260 ppm strukturell gebundenes Fluorid (Kirkegaard 1977). Iijima und Katayama (1985) fanden in einer Schichttiefe von 2,5 µm einen Fluoridgehalt im Schmelz von 2000 ppm (Trinkwasser < 0,1 ppm F), in Gegenden mit Trinkwasserfluoridierung sogar deutlich höher. So liegt der Fluoridgehalt im Schmelz bei einem Trinkwasser-Fluoridgehalt von 1,01 ppm in der gleichen Schichttiefe bei durchschnittlich 9000 ppm. Die Ausgangsfluoridgehalte der für diese Studie verwendeten Schmelzproben stimmen gut mit den Literaturangaben für Gebiete ohne Trinkwasserfluoridierung überein.

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 Caslavská et al. (1975) ebenfalls die Kalziumfluoriddeckschicht untersucht worden. Auch diese beiden Autoren fanden bereits vor einer Fluoridierung eine Kalziumfluorid-Deckschicht.

Zu diskutieren gilt es die Ätztiefen in den Schmelzplättchen, die sich zum Teil statistisch unterscheiden. Während die Fluoridbestimmung für die überwiegende Anzahl der Proben- und Kontroll-Schmelzabschnitte in der gleichen Schmelztiefe erfolgte, weicht die Bestimmung für die Proben-Abschnitte der Gruppe B hiervon ab, und diese Abweichung erreicht sowohl im Vergleich der Test- und Kontrollproben von Gruppe B untereinander (Wilcoxon-Test) als auch im Vergleich der Ätztiefen aller drei Proben-Gruppen (Kruskal-Wallis-Test) statistisches Signifikanzniveau (Tabelle 7). Ätztiefe und Fluoridgehalt stehen in unmittelbarer Beziehung zueinander. Der Unterschied bei den Probenplättchen der drei Gruppen (nach Fluorideinwirkung) wird daher den unterschiedlichen Fluoridgehalt reflektieren und entspricht der Erwartung, da die Fluoridexposition deutlich unterschiedlich war. Für die Beurteilung der differierenden Ätztiefen der Kontrollen zu Gruppe B hingegen gelten die bereits oben bezüglich der unterschiedlichen Fluoridgehalte in den Ausgangsproben formulierten Anmerkungen. Dabei ist auch zu berücksichtigen, dass die fluoridionensensitive Elektrode (Thermo Orion 9609 BN), die für die Untersuchung benutzt wurde, trotz regelmäßiger Kalibrierung und Eichung bei sehr geringen Fluoridkonzentrationen nicht in der Lage ist, exakt reproduzierbare Messergebnisse zu liefern.

Nach Duschner et al. (1980) können deutliche Änderungen der Schmelzzusammensetzung durch die Wirkung eines Fluoridierungsmittels nur in der äußersten Oberflächenschicht beobachtet werden. Daher sind die hier ermittelten Ätztiefen durchaus in der Größenordnung, in der es die Fluoridkinetik zu erforschen und verstehen gilt. Zudem weisen alle Gruppen bezüglich der Ätztiefen trotz der statistischen Unterschiede die gleiche Größenordnung auf.

Die Studiendauer von 28 Tagen umfasst den Zeitraum der initial hohen Fluoridfreisetzung aus Glasionomerzement und der danach folgenden, stetig geringer werdenden Fluoridabgabe bis zu dem Zeitpunkt, an dem sich die Abgabe aus dem Füllungsmaterial nur noch minimal ändert. Es sind frische Füllungen 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.

## 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 Glasionomerzementprobe war, kann zwar eine Erhöhung des auf- und eingelagerten Fluorids festgestellt werden. Dies steht in Übereinstimmung mit Studien von Tam et al. (1997), Wandera (1998) oder Eronat et al. (1999). Allerdings erreicht diese Zunahme kein statistisch gesichertes Ausmaß. Weder für KOH-lösliches noch für strukturell gebundenes Fluorid ist nach 28 Tagen ein signifikanter Anstieg der Fluoridkonzentration zu verzeichnen. Dies steht in Widerspruch zu Ergebnissen von Fischer-Brandies (1991) und Eronat et al. (1999) und kann dem verwendeten Zement, aber auch dem experimentellen Aufbau, der insbesondere durch den künstlichen Speichel und die Pellikel ionenaustauschhemmende orale Parameter simuliert (Regel 2003), zugeschrieben werden.

Versuchsgruppe A zeigt somit, dass die Glasionomerzementfüllung allein, d.h. ohne zusätzliche Fluoridierung, nur einen sehr geringen Einfluss auf den Fluoridgehalt der benachbarten Schmelzprobe hat. Es ist somit fraglich, ob die Fluoridzugewinne

im und auf dem Schmelz aus dem Füllungsmaterial klinisch von Bedeutung sein können. Unter oralen Bedingungen, die der experimentellen Simulation entsprechen, dürfte dies nicht der Fall sein.

In Gruppe B, in der die Fluoridaufnahme im Zahnschmelz aus regelmäßig refluoridiertem Glasionomerzement untersucht wurde, ist ebenfalls ein Fluoridzugewinn in und auf dem Schmelz zu beobachten. Bezüglich des eingelagerten Fluorids ist diese Zunahme statistisch signifikant und unterscheidet sich damit von dem geringeren Zugewinn in Gruppe A. Dieser Fluoridzugewinn erfolgt aufgrund der erhöhten Fluoridfreisetzung aus dem Material nach der Wiederaufladung. Bereits Creanor et al. (1995) konnten zeigen, dass nach Applikation einer 250-ppm-Fluoridlösung die Fluoridabgabe aus Glasionomerzement deutlich erhöht ist. Dies ist in der vorliegenden experimentellen Anordnung offensichtlich auch mit einer 200-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 Glasionomerzementes erklärt werden kann.

Somit zeigt die Studie, dass die Fluoridfreisetzung aus Glasionomerzement 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 gesteigert 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), letztere allerdings unter Anwendung eines 5000-ppm-Fluoridgels, nahe legen.

In Gruppe C wurde nicht nur der Glasionomerzement, sondern zugleich auch die Schmelzprobe zweimal täglich mit einer 200-ppm-NaF-Lösung fluoridiert, was der oralen Situation beim Zähneputzen entspricht. Hier kommt es nach 28 Tagen zu signifikanten Zunahmen der Fluoridein- und der Fluoridauflagerung. Auffällig ist vor

allein die deutliche Zunahme aufgelagerten Fluorids, welche mit einer Zunahme von 0,24 mg/cm<sup>2</sup> auf 0,44 mg/cm<sup>2</sup> eine Steigerung um 83 % ausmacht.

In anderen Studien zur Entstehung der Kalziumfluoriddeckschicht nach lokaler Fluoridapplikation wurden deutlich höhere Fluoriddepots als in der vorliegenden Untersuchung gefunden (Cruz et al. 1991, Attin et al. 2000). So fanden Attin et al. (2000) an der Oberfläche von Rinderschmelzblöcken eine Auflagerung von 87,0 µg/cm<sup>2</sup> KOH-löslichen Fluorids. Allerdings wurden in dieser Untersuchung die Rinderschmelzproben eine Stunde lang mit einer 2000-ppm-Fluoridlösung behandelt, und auch Cruz et al. verwendeten 500- oder 2000-ppm-Fluoridlösungen. Zudem wurde ohne eine künstliche Pellikel gearbeitet.

Auch bezüglich des strukturell gebundenen Fluorids ist nach 28 Tagen in Gruppe C ein deutlicher Fluoridzugewinn von 758 ppm festzustellen, wodurch 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 in einer dem Zahnpastengebrauch entsprechenden Konzentration 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 200 ppm sowie in Gegenwart von Pellikel und künstlichem Speichel gezeigt werden konnte.

Bei der bisher durchgeführten getrennten Betrachtung der Auswirkung von Fluorid aus Glasionomermaterial, aus refluoridiertem Glasionomermaterial 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 beantwortet wird:

Hierbei wird deutlich, dass der stärkste Effekt durch Applikation der 200-ppm-Fluoridlösung auf die Proben erzielt wird. Dies gilt sowohl für das aufgelagerte als auch für das eingelagerte Fluorid. Bemerkenswert ist die deutliche Zunahme aufgelagerten Fluorids, welche mit der signifikanten Veränderung von 0,24 mg/cm<sup>2</sup> auf 0,44 mg/cm<sup>2</sup> eine Steigerung um 83 % ausmacht. Diese Zunahme unterscheidet sich signifikant von den Fluoridgewinnen auf dem Zahnschmelz in den Gruppen A und B, in denen die aufgelagerte Fluoridmenge lediglich um 17% (Gruppe A) bzw. um 11 % (Gruppe B) angestiegen war. Zwischen diesen beiden Gruppen besteht bezüglich des zusätzlich aufgelagerten Fluorids kein signifikanter Unterschied.

Zwar 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 Glasionomermaterial darstellen. Durch Subtraktion der Fluoridgewinne in Gruppe B (Wiederaufladeeffekt, 0,02 mg/cm<sup>2</sup>) von denen der Gruppe C (direkter Effekt plus Wiederaufladeeffekt, 0,20 mg/cm<sup>2</sup>) wird aber deutlich, dass angesichts der vergleichsweise geringen Zunahme aufgelagerten Fluorids in Gruppe B die eben diskutierten Folgerungen aus der Untersuchung nicht relativiert werden.

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, Petzold 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).

Dies mag ansatzweise auch aus dem Vergleich der in den drei Untersuchungsgruppen eingelagerten Fluoridmengen hervorgehen. Zwar ist zum strukturell gebundenen Fluorid nach 28 Tagen in allen Gruppen ein Fluoridzugewinn festzustellen, der mit steigender Fluoridexposition größer wird (A: 400 ppm; B: 498 ppm; C: 758 ppm). Trotz dieser deutlichen Unterschiede errechnen sich in paarweisen Vergleichen bezüglich der Fluoridaufnahme jedoch keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den Untersuchungsgruppen. Möglicherweise hätte der Unterschied der in den drei Gruppen aufgenommenen Fluoridmenge bei längerer Versuchsdauer deutlicher ausfallen können, da es unter einer initial gebildeten Kalziumfluoriddeckschicht langsam zu einer Umwandlung von Hydroxylapatit zu Hydroxyl-Fluor-Apatit kommen kann (Rölla und Saxegaard 1990, Ögaard et al. 1994, Gülzow 1995). Andererseits ist bekannt, dass die Aufnahme von Fluorid in den Zahnschmelz zu einem bestimmenden 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, Chan et al. 1991, Schiffner et al. 2004). Die so weit wie möglich homogene Schmelzstruktur der verwendeten Schmelzproben, die aus Zähnen mit abgeschlossenem Wurzelwachstum gewonnen worden waren, welche jedoch noch nicht in der Mundhöhle gestanden hatten, kann daher die statistisch gleiche Fluoridaufnahme in den drei Gruppen erklären.

Während sich also die Zunahme aufgelagerten Fluorids in Probengruppe C signifikant von den Gewinnen aufgelagerten Fluorids in den Probengruppen A und B unterscheidet, können bezüglich der verschieden hohen Zunahmen des eingelagerten Fluorids in den drei Gruppen keine signifikanten Unterschiede ermittelt werden. Der Vergleich der Fluoridzugewinne in den drei Untersuchungsgruppen ist daher geeignet, die oben erwähnten bestätigenden Zwischenergebnisse zu relativieren. Die direkt aus dem Glasionomerzement oder nach dessen Refluoridierung erzielten Fluoridaufnahmen in und auf dem Zahnschmelz erscheinen gegenüber den Fluoridgewinnen nach Anwendung der 200-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 belegt, 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.

Klinisch steht der kariesinhibierende Effekt einer Glasionomerzementfüllung noch immer in der Diskussion. Randall und Wilson (1999) formulieren 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 Schmelz-Glattflächen, wie sie in der vorliegenden 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 in 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 Zahnschmelzarealen 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 unbedeutend 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 Glasionomerkement, von refluoridiertem („wiederaufgeladenem“) Glasionomerkement oder von einer zu dieser Refluoridierung verwendeten Fluoridlösung auf den Fluoridgehalt von benachbartem Zahnschmelz ermöglicht werden. 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 Glasionomerkement Ketac-Fil® (3M-Espe AG, D-Seefeld), zum anderen eine Fluoridspüllösung, mit der der Glasionomerkement refluoridiert wurde und mit dem die Schmelzproben direkt fluoridiert wurden. Aus humanen, retinierten Weisheitszähnen wurden 72 Schmelzproben herausgetrennt, von denen die Hälfte auf drei Gruppen zu je 12 Proben aufgeteilt wurde. Die anderen Proben dienten der Kontrolle für die Bestimmung der Fluoridauf- und einlagerung. Mit dem Glasionomerkement wurden standardisierte Proben in Plastikhalme gelegt und in künstlichem Speichel mit den in ca. 2 mm Entfernung angebrachten Schmelzproben so kombiniert, dass der Glasionomerkement und der Zahnschmelz getrennt fluoridiert werden konnten:

Gruppe A: Füllung und Plättchen waren zusammen fixiert und wurden nicht mit der NaF-Lösung fluoridiert,

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

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

Zur Fluoridierung wurde eine 200-ppm-Natriumfluoridlösung verwendet, welche bezüglich ihres Fluoridgehaltes die Anwendung von Zahnpasta in der Mundhöhle simulierte. Verschiedene weitere Parameter der Mundhöhle wie die Pellikel, die Speichelionen, die Temperatur wie 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 die auf dem Zahnschmelz abgelagerte Fluoridmenge nach Ablösen mit Kalilauge sowie das im Zahnschmelz strukturell gebundene Fluorid nach Lösen mit Perchlorsäure bestimmt.

Zum Versuchsende war der Fluoridgehalt in allen Gruppen angestiegen. Dabei konnte in Gruppe A kein statistisches Signifikanzniveau gegenüber den Kontrollen erreicht werden, während neben dem refluoridierten Zement (Gruppe B) signifikante Fluorideinlagerungen in den Zahnschmelz ermittelt wurden. In Gruppe C, in der sowohl die Füllungsproben als auch die Schmelzplättchen über 28 Tage fluoridiert worden waren, wurden die höchsten Fluoridzugewinne gefunden, und die Proben unterschieden sich sowohl für Fluorid auf und als auch im Zahnschmelz signifikant von den Kontrollen.

Beim Vergleich der Fluorid-Zugewinne der drei Gruppen untereinander konnten bezüglich der Fluoridanlagerung signifikant höhere Werte in Gruppe C als in Gruppe A und B ermittelt werden. Die Einlagerung strukturell gebundenen Fluorids in den Zahnschmelz unterschied sich zwischen den Gruppen A bis C hingegen statistisch nicht voneinander.

Die Simulierung oraler Verhältnisse erlaubt eine Übertragung der vorgelegten Ergebnisse auf die klinische orale Situation. Demnach ist für die Fluoridierung von Zahnschmelz, der einer Glasionomermaterialfüllung benachbart ist, in erster Linie von außen zugeführtes Fluorid von Bedeutung. Die direkt aus dem Glasionomermaterial 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“ Glasionomermaterial 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. Literaturverzeichnis

Armstrong, W.D., Brekhus, P.J.

Chemical constitution of enamel and dentin

J Biol Chem 120, 677-687, 1937

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

Bánóczy, J., Szöke, J., Kertész, P., Tóth, Zs., Zimmermann, P., Gintner, Z.

Effect of amine fluoride/stannous fluoride-containing toothpaste and  
mouthrinsings on dental plaque, gingivitis, plaque and enamel F- accumulation

Caries Res 23, 284-288, 1989

Barbakow, F.

In-vivo-Reaktionen an der Schmelzoberfläche nach Fluoridapplikation

Dtsch Zahnärztl Z 38, S23-S24, 1983

Benelli, E.M., Serra, M.C., Rodrigues Jr., A.L., Cury, J.A.

In situ anticariogenic potential of glass ionomer cement

Caries Res 27, 280-284, 1993

Bowen, W.H.

Dental Caries. Is it an extinct disease?

J Am Dent Assoc 122, 49-54, 1991

Caslavska, V., Moreno, E.C., Brudevold, F.

Determination of the calciumfluoride formed from in vitro exposure of human enamel to fluoride solutions

Arch Oral Biol 20, 333, 1975

Chan, J.C., Hill, F.J., Newman, H.N.

Uptake of fluoride by sound and artificially carious enamel in vitro following application of topical sodium and amine fluorides

J Dent 19, 110-115, 1991

Creanor, S.L., Carruthers, L.M.C., Saunders, W.P., Strang, R., Foye, R.H.

Fluoride uptake and release characteristics of glass ionomer cements

Caries Res 28, 322-328, 1994

Creanor, S.L., Carruthers, L.M.C., Saunders, W.P., Strang, R., Foye, R.H.

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., Rølla, G.

Deposition of alkali-soluble fluoride on enamel surface with or without pellicle

Scand J Dent Res 99, 96-99, 1991

Cruz, R., Rølla, G., Ögaard, B.

Formation of fluoride on enamel in vitro after exposure to fluoridated mouthrinses

Acta Odontol Scand 49, 329-334, 1991

Damen, J.J.M., Buijs, M.J., ten Cate, J.M.

Uptake and release of fluoride by saliva-coated glass ionomer cement

Caries Res 30, 454-457, 1996

De Witte M.J.C, De Maeyer, A.P.E., Verbeeck, M.H.R., Martens, L.C.  
Fluoride release profiles of mature restorative glass ionomer cements after  
fluoride application  
Biomaterials 21, 475-482, 2000

Diaz-Arnold, A.M., Holmes, D.C., Wistrom, D.W., Swift, E.J. Jr.  
Short term fluoride release/uptake of glass ionomer restoratives  
Dent Mater 11, 96-101, 1995

Dijkmann, A.G., Tak, J., Arends, J.  
Fluoride deposited by topical applications in enamel. KOH-soluble and aquired  
fluoride  
Caries Res 16, 147-155, 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

Eberle, G., Wolter, R.  
Fluoridkarte der Bundesrepublik Deutschland. In: Wiss. Institut der  
Ortskrankenkassen (Hrsg.)  
Wido-Materialien Band 25, Bonn 1985

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

Elderton, R.J.  
Kriterien der Mundgesundheit. In: Professionelle Prävention in der  
Zahnarztpraxis  
Urban und Schwarzenberg, München 1994

El Mallakh, B.F., Sarkar, N.K.

Fluoride release from glass-ionomer cements in de-ionized water and artificial saliva

Dent Mater 6, 118-122, 1990

Eronat, N., Kocatas, N., Alpoz, A.R.

A comparative study of fluoride uptake from dentin bonding agents and glass-ionomer cements in permanent primary tooth enamel

Quintessence Int 30, 496-500, 1999

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

Forss, H., Seppä, L., Alakuijala, P.

Plaque accumulation on glass ionomer filling materials

Proc Finn Dent Soc 87, 343-350, 1991

Forss, H., Seppä, L., Näse, L.

Fluoride concentration, mutans streptococci and lactobacilli in plaque from old glass ionomer fillings

Caries Res 29, 50-53, 1995

Forsten, L.

Short- and long-term fluoride release from glass ionomers and other fluoride-containing filling materials in vitro

Scand J Dent Res 98, 179-185, 1990

Forsten, L.

Resin-modified glass ionomer cements: fluoride release and uptake

Acta Odontol Scand 35, 222-225, 1995

Forsten, L.

Fluoride release and uptake by glass-ionomers and related materials and its  
clinical effects

Biomaterials 19, 503-508, 1998

Friedl, K.-H., Schmalz, G., Hiller, K.-A., Shams, M.

Resin-modified glass ionomer cements: fluoride release and the influence on  
Streptococcus mutans growth

Eur J Oral Sci 105, 81-85, 1997

Gandolfi, M.G., Chersoni, S., Acquaviva, G.L., Piana, G., Prati, C., Mongiorgi, R.

Fluoride release and absorption at different pH from glass-ionomer cements

Dent Mater 22, 441-422, 2006

Glockmann, E, Gerholdt C, Triemer K

Freisetzung von Fluorid aus unterschiedlichen Glasionomerkementen

Dtsch Zahnärztl Z 52, 668-672, 1997

Gülzow, H.-J.

Vergleichende Untersuchungen über die Wirksamkeit von Aminfluoriden an der  
Schmelzoberfläche

Dtsch Zahnärztl Z 38, S19-S22, 1983

Gülzow, H.-J., Ganschow, C., Mannes, C.

Fluoridaufnahme der Schmelzoberfläche aus Zahnpasten mit unterschiedlichen  
Fluoridverbindungen

Dtsch Zahnärztl Z 48, 112-114, 1993

Gülzow, H.- J.

Präventive Zahnheilkunde

Hanser, München 1995

Gülzow, H.-J., Burghardt, P., Schiffner, U.

Karies bei Hamburger Kindergartenkindern 1977-1993

Dtsch Zahnärztl Z 51, 354-356, 1996

Gülzow, H.- J., Farshi H.

Die Zahngesundheit Hamburger Kindergartenkinder 1997-1998

Dtsch Zahnärztl Z 55, 770-773, 2000

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, I.R.

Effects of fluoride on enzymatic regulation of bacterial carbohydrate metabolism

Caries Res 11 (Suppl 1), 262-291, 1977

Hamilton, I.R.

Biochemical effects of fluoride on oral bacteria

J Dent Res 69, 660-667, 1990

Hannig, M.

Bildung, Funktion und Bedeutung der Pellikel

I. Biochemische, bakteriologische und strukturelle Aspekte

Oralprophylaxe 16, 39-46, 1994a



Hannig, M.

Bildung, Funktion und Bedeutung der Pellikel

II. Auswirkungen zahnärztlicher Maßnahmen und dentaler Materialien auf die  
Pellikelbildung

Oralprophylaxe 16, 102-105, 1994b

Hattab, F.N., Amin, W.M.

Fluoride release from glass ionomer restorative materials and the effects of  
surface coating

Biomaterials 22, 1449-1458, 2001

Hatibovic-Kofman S., Koch, G.

Fluoride release from glass ionomer cement in vivo and in vitro

Swed Dent J 15, 53-258, 1991

Hatibovic-Kofman S., Suljak J.-P., Koch G.

Remineralization of natural carious lesions with a glass ionomer cement

Swed Dent J 21, 11-17, 1997

Haubner, R.

Der Fluoridgehalt im Zahnschmelz kariöser und nicht-kariöser Zähne

Med Diss, Erlangen- Nürnberg, 1990

Hellwig, E., Klimek, J.

Fluoridverlust aus demineralisiertem Schmelz nach Applikation verschieden  
konzentrierter NaF- und Na-MFP-Lösungen im künstlichen Mund

Dtsch Zahnärztl Z 39, 892-898, 1984

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

Einführung in die Zahnerhaltung, 2. Auflage

Urban und Fischer, München-Jena 1999

Hübers, B., Naujoks, R.

Zahngesundheitszustand 12-14jähriger in zwei fluoridendemischen Gebieten  
Nordbayerns

Dtsch Zahnärztl Z 35, 265- 267, 1980

Iijima, Y., Katayama, T.

Fluoride concentration in deciduous enamel in high- and low-fluoride areas

Caries Res 19, 262-265, 1985

Jensen, M.E., Kohout, F.

The effect of a fluoridated dentrifice on root and coronal caries in an older adult  
population

J Am Dent Assoc 117, 829-832, 1988

Keyes, P.H.

Recent advances in dental caries research. Bacteriology

Int Dent J 12, 443-446, 1962

Kirkegaard, E.

In vitro fluoride uptake in human dental enamel from four different dentifrices

Caries Res 11, 24-29, 1977

Klein, H., Palmer, C.E., Knutson, J.W.

Studies on dental caries. 1. Dental Status and dental needs of elementary  
school children

Public Health Rep 53, 751-760, 1938

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, abst. no. 17, 1998

Klimm, W.

Kariologie

Hanser, München 1997, S. 108

Knop, B, Leisentritt, V., Schiffner U.

Zur Fluoridabgabe von Kompositen nach wiederholter Applikation eines  
Fluoridgeeles

Oralprophylaxe 25, 116-119, 2003

Koch, G.

Effect of daily supervised toothbrushing with a sodium fluoride dentrifice. A 3-  
year-double-blind clinical test

Odontol Revy 18, 48-66, 1967

Koch, G., Hatibovic-Kofman S.

Glass ionomer cements as a fluoride release system in vivo

Swed Dent J 14, 267-273, 1990

König, K.,G.

Karies und Kariesprophylaxe

Goldmann, München 1971, S. 31

Künzel, W., Auermann, E.

Epidemiologische Studien über die Beziehung zwischen dem Fluoridgehalt des  
Trinkwassers, der Dentalfluorose und Kariesverbreitung

Zahnärztl Welt 68, 513-517, 1967

KZBV

Kassenzahnärztliche Bundesvereinigung, Statistisches Jahrbuch 2003. Köln

<http://www.kzbv.de/down/jbgraf99.pdf>, 2004

Larsen, M.J., Jensen, S.J.

Solubility, unit cell dimensions and cristallinity of fluoridated human dental enamel

Arch Oral Biol 34, 969-973, 1989

Larsen, M.J., 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

Lowry, O.H., Roberts, N.R., Leiner, K.Y., Wu, M.L., Farr, L.

The quantitative histochemistry of brain

J Biol Chem 207, 1-15, 1954

McCann, H.G.

Determination of fluoride in mineralized tissues using the fluoride-elektrode

Arch Oral Biol 13, 475-477, 1968

Marinelli, C.B., Donly, K.J.

Effects of a fluoridated dentrifice on fluoride release of composite resin and glass ionomer cement.

J Dent Res 72, 317, 1993

Marinelli, C.B., Donly, K.J., Wefel, J.S., Jakobsen, J.R., Denehy, G.E.

An in vitro comparison of three fluoride regimens on enamel remineralisation

Caries Res 31, 418-422, 1997

Marthaler, T.M.

Explanations for changing patterns of disease in the western world

In: Guggenheim, G. (ed.): Cariology today, 13-23

Karger, Basel 1984

Marthaler, T.M.

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

Mjör, I.A., Moorhead, J.E., Dahl, J.E.

Reasons for replacement of restorations in permanent teeth in general dental practice

Int Dent J 50, 361-366, 2000

Mühlemann, H.R., Rossinsky, K., Schait, A.

Physikalisches, chemisches und mikromorphologisches Verhalten von Schmelz nach Behandlung mit anorganischen- und Aminfluoriden

Schweiz Monatsschr Zahnheilkd 77, 230-248, 1967

Mukai, M., Ikeda, M., Yanagihara, T., Kato, K., Nakagaki, H., Robinson, C.

Fluoride uptake in human dentine from glass ionomer cement in vivo

Arch Oral Biol 38, 1093-1098, 1993

Ögaard, 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

Ögaard, B., Seppä, L., Rølla, G.

Professional topical fluoride applications – clinical efficacy and mechanism of action

Adv Dent Res 8, 190-201, 1994

Ögaard, B.

CaF<sub>2</sub> formation: Cariostatic properties and factors of enhancing the effect  
Caries Res 35 (suppl 1), 40-44, 2001

Patz, J.

Pharmakokinetische Untersuchungen zum Fluoridstoffwechsel.  
Thieme, Stuttgart 1975

Petzold, 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 (DAJ), Bonn 2005

Randall, R. C., Wilson, N.H.F

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 Glasionomierzement, sowie ihr Einfluss auf die  
Fluoridanreicherung im Zahnschmelz  
Med Diss, Hamburg 2003

Rölla, G.

On the role of calcium fluoride in the cariostatic mechanism of fluoride  
Acta Odontol Scand 46, 341-345, 1988

Rölla, 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, 780-785, 1990

Saul, L.

Die Fluoridfreisetzung aus einem Glasionomerkement und einem Kompomer im sauren Millieu und die hieraus resultierende Fluoridaufnahme in den Zahnschmelz

Med Diss, Hamburg 2002

Schiffner, U., von Bröckel, U.

Die Fluoridabgabe aus drei fluoridhaltigen Kompositen im Vergleich zur Fluoridfreisetzung aus einem Glasionomerkement

Dtsch Zahnärztl Z, 54, 568-571, 1999

Schiffner, U., Reich, E.

Prävalenzen zu ausgewählten klinischen Variablen bei den Jugendlichen (12 Jahre) In: Micheelis, W., Reich, E. (Hrsg.): Dritte deutsche Mundgesundheitsstudie (DMS III)

Deutscher Ärzte-Verlag, Köln 1999a, S. 201-230

Schiffner, U., Reich, E.

Internationale Vergleiche. In: Micheelis, W., Reich, E. (Hrsg.): Dritte deutsche Mundgesundheitsstudie (DMS III)

Deutscher Ärzte-Verlag, Köln 1999b, S. 247-275

Schiffner, U., Regel, I., Saul, L.

Zur Fluoridabgabe aus Glasionomerkementen und dessen Aufnahme in Zahnschmelz in Gegenwart von Speichel

Biomaterialien 5 (S1), 86-87, 2004

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

Seppä, L, Forss, H., Ögaard, 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.

Fluoride release and effect on enamel softening by fluoride-treated and fluoride untreated glass ionomer specimens

Caries Res 28, 406-408, 1994

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

Silverstone, L.M., Fejerskov, O.

Structural features of dental caries and the effects of fluoride on artificial caries

In : Ekstrand, J., Fejerskov, O., Silverstone, L.M. : Fluoride in dentistry

Munksgaard, Copenhagen 1988, pp 104-124

Smith, D.C.

Development of glass-ionomer cement systems

Biomaterials 19, 467-478, 1998



Staeble, H.J., Bößmann, K.

Experimentelle Untersuchung über die antikariogene Wirkung von  
Glasionomerkement

Dtsch Zahnärztl Z 39, 532-534, 1984

Stephan, R.M.

Intra-oral hydrogen-ion concentration on tooth surfaces and caries activity

J Dent Res 23, 257-266, 1944

Strother, J.M., Kohn, D.H., Dennison, J.B., Clarkson, B.H.

Fluoride release and reuptake in direct tooth colored restorative materials

Dent Mater 14, 129-136, 1998

Strubelt, O.

Fluoride aus zahnmedizinischer und toxikologischer Sicht.

Zahnärztl Prax 40, 358, 1989

Tam, L.E., Chan, G.P., Yim, D.

In vitro caries inhibition effects by conventional and resin-modified glass-  
ionomer restorations

Oper Dent 22, 4-14, 1997

ten Cate, J.M., van Duinen, R.N.B.

Hypermineralization of dentinal lesions adjacent to glass ionomer cement  
restorations

J Dent Res 74, 1266-1271, 1995

ten Cate, J.M.

Physiko-chemische Aspekte der Wechselwirkungen von fluoridiertem Schmelz  
und die Folgen für die Kariesprophylaxe

Oralprophylaxe 25, 18-20, 2003

Twetman, S., McWilliam, J.S., Hallgren, A., Oliveby, A.

Cariostatic effect of glass ionomer retained orthodontic appliance

Swed Dent J 21, 69-175, 1997

Vieira, A.R., de Souza, I.P.R., Modesto, A.

Fluoride uptake and release by composites and glass ionomers in a high caries challenge situation

Am J Dent 12, 14-18, 1999

Wandera, A.

In vitro enamel effects of a resin-modified glass ionomer: fluoride uptake and resistance to demineralisation

Pediatr Dent 20, 411-417, 1998

Weatherell, J.A., Deutsch, D., Robinson, C., Hallsworth, A.S.

Assimilation of fluoride by enamel throughout the life of the tooth

Caries Res 11, 85-115, 1977

Williams, J.A., Billington, R.W., Pearson, G.J.

The glass ionomer cement: The source of soluble fluoride

Biomaterials 23, 2191-2200, 2002

Zacherl, D.P.H.

A 3 year clinical caries evaluation of the effect of a sodium fluoride-silica abrasive dentifrice

Pharmacol Ther Dent 6, 1-7, 1981

## 8. Anhang

### Zusammenstellung der Einzelmesswerte

Tabelle A1: KOH-lösliches Fluorid

Tabelle A2: Strukturell gebundenes Fluorid (ppm)

Tabelle A3: Ätztiefen der Schmelzplättchen-Kontrollen und -Proben ( $\mu\text{m}$ )

**Tabelle A1: KOH-lösliches Fluorid ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ )**

- Werte auf zwei Dezimalstellen gerundet -

**Gruppe A Füllungsmaterial und Schmelzplättchen  
wurden nicht fluoridiert**

Plättchen	Kontrolle	Testplättchen	Differenz
1	0,21	0,37	0,16
2	0,21	0,54	0,33
3	0,15	0,13	-0,02
4	0,15	0,16	0,02
5	0,15	0,12	-0,02
6	0,17	0,04	-0,14
7	0,17	0,33	0,16
8	0,24	0,26	0,02
9	0,24	0,23	-0,01
10	0,13	0,11	-0,02
11	0,21	0,15	-0,07
12	0,19	0,12	-0,06

**Gruppe B nur das Füllungsmaterial wurde fluoridiert**

Plättchen	Kontrolle	Testplättchen	Differenz
1	0,26	0,21	-0,05
2	0,26	0,47	0,21
3	0,07	0,17	0,10
4	0,07	0,17	0,10
5	0,07	0,19	0,12
6	0,18	0,19	0,01
7	0,21	0,03	-0,18
8	0,21	0,27	0,06
9	0,21	0,23	0,02
10	0,26	0,19	-0,07
11	0,22	0,20	-0,02
12	0,20	0,19	0,00

**Gruppe C Füllungsmaterial und Schmelzplättchen  
wurden fluoridiert**

Plättchen	Kontrolle	Testplättchen	Differenz
1	0,21	0,30	0,10
2	0,21	0,24	0,03
3	0,25	0,68	0,43
4	0,26	0,45	0,19
5	0,26	0,42	0,15
6	0,20	0,57	0,37
7	0,23	0,42	0,19
8	0,23	0,51	0,28
9	0,21	0,53	0,32
10	0,21	0,44	0,23
11	0,23	0,27	0,03
12	0,34	0,43	0,08

**Tabelle A2: Strukturell gebundenes Fluorid (ppm)**

- Werte gerundet -

**Gruppe A Füllungsmaterial und Schmelzplättchen  
wurden nicht fluoridiert**

Plättchen	Kontrolle	Testplättchen	Differenz
1	1727	1555	-172
2	1727	986	-741
3	973	1596	623
4	973	1162	189
5	973	1798	824
6	1787	1936	150
7	1787	3570	1784
8	2402	2304	-98
9	2402	1948	-453
10	1514	2669	1155
11	1241	1962	721
12	1440	2258	818

**Gruppe B nur das Füllungsmaterial wurde fluoridiert**

Plättchen	Kontrolle	Testplättchen	Differenz
1	1801	2191	390
2	1801	2410	609
3	1252	1699	448
4	1252	1994	743
5	1252	2070	818
6	1281	2073	792
7	1502	1409	-93
8	1502	1672	170
9	1502	1819	317
10	1611	2195	584
11	1256	2510	1253
12	2600	2551	-50

**Gruppe C Füllungsmaterial und Schmelzplättchen  
wurden fluoridiert**

Plättchen	Kontrolle	Testplättchen	Differenz
1	2256	2807	551
2	2256	3102	846
3	1394	1778	384
4	2326	3599	1273
5	2326	3597	1271
6	2091	2412	321
7	1771	1536	-235
8	1771	2302	531
9	1919	2194	274
10	1919	3182	1263
11	2015	3770	1755
12	1843	2699	856

**Tabelle A3: Ätztiefen der Schmelzplättchen-Kontrollen und -Proben ( $\mu\text{m}$ )**

Gruppe A	Kontrolle	Testplättchen
1	1,39	2,07
2	1,39	2,22
3	2,68	2,36
4	2,68	2,62
5	2,68	1,65
6	1,47	1,86
7	1,47	1,27
8	1,25	1,26
9	1,25	2,22
10	1,35	1,52
11	2,46	1,69
12	1,14	1,74
<b>Gruppe B</b>		
1	1,63	1,26
2	1,63	1,14
3	2,04	1,81
4	2,04	1,54
5	2,04	1,63
6	2,20	1,29
7	2,12	1,75
8	2,12	1,68
9	2,12	1,51
10	1,53	1,43
11	2,15	1,22
12	0,77	0,98
<b>Gruppe C</b>		
1	1,64	1,80
2	1,64	1,70
3	2,04	1,98
4	1,33	2,21
5	1,33	1,33
6	2,04	2,09
7	2,35	2,14
8	2,35	1,87
9	1,56	1,98
10	1,56	1,85
11	1,71	1,23
12	1,65	1,64

**Lebenslauf**

Am 31.01.1978 wurde ich, Inke Kohrmeyer, Tochter von Klaus und Gesa, geb. Nau, Kohrmeyer in Bremerhaven geboren. Von 1984 bis 1988 besuchte ich die Grundschule Langen, von 1988 bis 1990 die Orientierungsstufe Langen, von 1990 bis 1993 das Gymnasium Langen, von 1993 bis 1995 die Realschule Langen und letztlich von 1995 bis 1998 die gymnasiale Oberstufe des Schulzentrums Bürgermeister Smidt in Bremerhaven. 1998 erhielt ich die allgemeine Hochschulreife an der gymnasialen Oberstufe des Schulzentrums Bürgermeister Smidt in Bremerhaven.

Von 1998 bis 1999 studierte ich für ein Semester Ökotoxikologie an der Fachhochschule Hamburg, bevor ich 1999 das Studium der Zahnmedizin an der Universität Hamburg aufnahm. Von 1999 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.

Seit dem 06.12.2004 bin ich in Uetersen als Vorbereitungsassistentin tätig.

## **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. Danken möchte ich für die freundliche Unterstützung im biochemischen Labor Herrn Fischer und Frau Bosch, Frau Susanne Effenberger und meiner Schwester Katrin für die hilfreiche Unterstützung bei der Anwendung von Computerprogrammen. Für die tatkräftige Unterstützung danke ich auch Herrn Hauke Kleinen.



**Erklärung**

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, und dass ich die Dissertation nicht einem Fachvertreter an anderen Hochschulen zur Überprüfung vorgelegt oder mich anderweitig um Zulassung zur Promotion beworben habe.

Inke Kohrmeyer

