
Universitätsklinikum Hamburg-Eppendorf
Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
Poliklinik für Zahnerhaltung und Präventive Zahnheilkunde
Direktorin: Prof. Dr. Ursula Platzer

**Fluoridabgabe aus Glasionomerzement nach Refluoridierung
mit niedrig konzentrierten Fluoridlösungen**

Dissertation

zur Erlangung des Grades eines Doktors der Zahnmedizin

dem Fachbereich Medizin der Universität Hamburg
vorgelegt von

Hauke Kleinen
aus Hamburg

Hamburg 2008

Angenommen von der Medizinischen Fakultät

Der Universität Hamburg am: 17.07.2008

Veröffentlicht mit der Genehmigung der Medizinischen
Fakultät der Universität Hamburg

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

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

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

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	3
1 Einleitung	4
2 Literaturübersicht	7
2.1 Fluorid	7
2.2 Wirkungsmechanismen von Fluorid	8
2.3 Fluoridabgabe und -wiederaufnahme von/in Glasionomer-zement	10
2.4 Humaner Speichel.....	14
2.5 Zahnschmelz.....	16
3 Material und Methode	17
3.1 Zahnmaterial	17
3.2 Glasionomerezement	17
3.3 Fluoridlösung.....	18
3.4 Künstlicher Speichel.....	18
3.5 Herstellung der Proben	18
3.6 Versuchsaufbau	20
3.7 Fluoridbestimmung im künstlichen Speichel	23
3.8 Statistik.....	24
4 Ergebnisse	25
5 Diskussion.....	33
5.1 Diskussion der Methodik	33
5.2 Diskussion der Ergebnisse.....	38
6 Zusammenfassung	43
7 Literaturverzeichnis.....	46
8 Lebenslauf.....	58
9 Danksagung	59
10 Erklärung.....	60

1 Einleitung

In den westlichen Industrieländern ist Karies eine der meist verbreiteten Zivilisationskrankheiten. Erkrankte Zähne müssen mit einem hohen Aufwand konservierend und/oder prothetisch versorgt werden. Durch eine suffiziente Primär- und Sekundärprophylaxe der Karies können solche zum Teil sehr invasiven Maßnahmen bezüglich ihrer Häufigkeit oder Intensität deutlich reduziert werden. Moderne Präventionskonzepte können dieses Ziel erfolgreich umsetzen.

Die moderne Kariesprophylaxe basiert auf vier Pfeilern: der Anwendung von Fluoriden, der zahngesunden Ernährung, der konsequenten Mundhygiene und regelmäßigen Zahnarztbesuchen. In den letzten Jahrzehnten haben sich Verfahren zur Fissurenversiegelung mit Kompositen als zusätzliche präventive Maßnahme erfolgreich etabliert (Gülzow 1995, Hickel et al. 2007). Wie erfolgreich diese Bemühungen sein können, wird insbesondere bei Kindern und Jugendlichen deutlich. Bei ihnen ist ein Rückgang der als DMFT-Wert ausgedrückten Karieserfahrung und gleichzeitig eine Zunahme komplett kariesfreier Gebisse zu beobachten (Pieper 2005, Schiffner 2006).

Ein hoher Anteil der Karieserfahrung kommt bei einem vergleichsweise kleinen Kreis der kindlichen und jugendlichen Bevölkerung vor. Diese Konzentration auf eine Teilgruppe wird als Polarisation bezeichnet. Die betroffenen Bevölkerungsteile können jedoch nur schwer mit Prophylaxemaßnahmen erreicht werden (Borutta und Brocker 1996, Gülzow et al. 1996, Gülzow und Farshi 2000). Mit der Polarisation geht eine höhere Erkrankungsprävalenz in niedrigeren Sozialschichten einher. So zeigen DMFT-Werte für Kinder und Jugendliche in Hamburg deutliche Unterschiede im Vergleich der verschiedenen sozialen Schichten (Effenberger und Schiffner 2004).

Dem Einsatz von Fluoriden wird eine besonders wichtige Rolle bei der Kariesprävention zugeschrieben (König 1993, Bowen 1991). Die regelmäßige

Anwendung von fluoridhaltigen Zahnpasten und von fluoridiertem Speisesalz ist bei Patienten mit durchschnittlichem Kariesrisiko wegen der täglich zwar geringen, aber stetig auf die Zahnoberfläche applizierten Dosis effektiver als die sporadische Anwendung von hoch dosierten Gelees, Fluoridlösungen oder Fluoridlacken beim Zahnarzt (Torell und Ericsson 1965). Da über 90% der Zahnpasten Fluoridverbindungen enthalten, sind sie die wichtigste Fluoridquelle für die Zähne der deutschen Bevölkerung (Hellwig et al. 1996).

Die Inkorporation von Fluorid in Füllungsmaterialien ist Wilson und Kent 1972 mit den Glasionomorzementen gelungen (Wilson und Kent 1972), welche neben einem basischen Pulver und der Polyalkensäure fluoridhaltige Gläser enthalten. Ein wichtiges Einsatzgebiet dieses Füllungsmaterials liegt in der Kinderzahnheilkunde. Daneben findet es als Zahnhalsfüllung oder als Unter- oder Aufbaufüllung Verwendung.

In-vitro-Studien zeigen, dass direkt neben Glasionomorzementfüllungen weniger kariöse Läsionen entstehen (ten Cate und van Duinen 1995, Forsten 1990) und dass auch in der angrenzenden Umgebung der Füllung ein karieshemmender Effekt zu beobachten ist (Staehele und Bößmann 1984, Hellwig et al. 1999). Einige Langzeitstudien unterstreichen, dass es zu nur wenig Sekundärkaries neben Glasionomorzementfüllungen kommt (Benelli et al. 1993, Koch und Hatibovic-Kofmann 1990, Hatibovic-Kofmann und Koch 1991). Dies wird auf die Freisetzung von Fluorid aus dem Material und dessen remineralisierendem Effekt am Zahnschmelz zurückgeführt.

Bei und nach der Abbindereaktion von Glasionomorzementen wird im wässrigen Milieu innerhalb der ersten 24 Stunden sehr viel Fluorid freigesetzt. Schnell sinkt die Abgabe aber und pendelt sich nach einigen Wochen auf einem geringen, jedoch stabilen Niveau ein (de Schepper et al. 1991, Creanor et al. 1994).

Durch die Verwendung fluoridhaltiger Zahnpasten, Mundspüllösungen und Fluoridgelees kann Fluorid wieder in den Glasionomorzement aufgenommen, dort gespeichert und anschließend langsam wieder abgegeben werden (Hatibovic-

Kofmann et al. 1994, de Witte 2000). Dieser Wiederaufladungsvorgang wird auch als „rechargement“ bezeichnet und ist unter anderem von dem primären Fluoridgehalt der Füllung, der Verarbeitung des Materials sowie dem umgebenden Medium abhängig. Erhöhte Temperaturen und ein saurer pH-Wert führen zu vermehrter Fluoridfreisetzung (Swift 1988, Jones et al. 1987, Forsten 1990).

Studien zur „Wiederaufladung“ von Glasionomerezement mit Fluorid sind bislang im Allgemeinen mit Fluoridkonzentrationen durchgeführt worden, die dem Fluoridgehalt von Erwachsenenzahnpasten entsprechen. Damit werden jedoch die klinischen Verhältnisse im Milchgebiss nicht berücksichtigt, da Kinder im Alter bis zu 6 Jahren Pasten mit reduziertem Fluoridgehalt anwenden. Auch wurde die im Munde stattfindende Verdünnung der mittels Zahnpasten zugeführten Fluoride bisher nicht berücksichtigt. Es ist unklar, wie groß die hieraus resultierenden Fehleinschätzungen der Fluoridwiederaufladung von Glasionomerezement im Milchgebiss sind.

Es ist das Ziel der Arbeit, dies durch Anwendung geringer Fluoridkonzentrationen auf Glasionomerezement zu überprüfen. Dabei soll in einer In-vitro-Anordnung die orale Situation simuliert werden. Zur Simulation soll neben den oralen Parametern „Pellikel“, „Speichelionen“, „Mundhöhlentemperatur“ und „Fluoridverdünnung beim Zähneputzen“ auch die Gegenwart von Milchzahnschmelz bzw. bleibendem Schmelz beitragen. Damit soll zugleich abgeschätzt werden, ob der vergleichsweise geringere Mineralisationsgrad von Milchzahnschmelz zu einer höheren Aufnahme des freigesetzten Fluorids in den Schmelz führt.

Mit der Arbeit sind folgende Hypothesen verbunden:

1. Durch Applikation von Fluorid in niedriger, der klinischen Anwendung von Kinderzahnpasten entsprechender Konzentrationen wird die Abgabe von Fluorid aus Glasionomerezement nicht signifikant erhöht.
2. In Gegenwart von Milchzahnschmelz ist die Menge aus Glasionomerezement freigesetzten, verfügbaren Fluorids reduziert.

2 Literaturübersicht

2.1 Fluorid

Fluor ist neben Chlor, Brom, Jod und Astat ein Element der Halogengruppe. Auf Grund seiner hohen Reaktivität kommt Fluor praktisch nie ungebunden, sondern insbesondere in Verbindung mit Mineralien vor. In der Erdkruste ist Fluorid in Bereichen vulkanischer Böden besonders stark vertreten. Durch Auswaschung gelangt es in das Grundwasser. Die Konzentration im Trinkwasser schwankt abhängig von der geografischen Lage. Die Fluoridkonzentration des Meerwassers beträgt zwischen 1,0 und 2,7ppm (Strubelt 1989, Gülzow 1995).

Fluorid ist ein essentielles Spurenelement, das mit der Nahrung aufgenommen wird. Hier weist Fisch mit 0,2 ppm den höchsten Fluoridgehalt auf. Durch Essen und Trinken werden täglich im Durchschnitt 0,2 bis 0,3 mg Fluorid aufgenommen (Schaitle und Siebert 1987).

Die Art der Fluoridverbindung bestimmt die Bioverfügbarkeit. Diese kann bis zu 100 % betragen. Natriumfluorid (NaF), Zinnfluorid (SnF_2) und Fluorwasserstoff (HF) sind gut, Kalziumfluorid (CaF_2), Magnesiumfluorid (MgF_2) und Aluminiumfluorid (AlF_3) wegen der verringerten Löslichkeit schlecht verfügbar (Ekstrand und Ehrnebo 1980). Das Fluorid wird über den Verdauungstrakt aufgenommen und im Körper verteilt. Beim Erwachsenen wird das aufgenommene Fluorid, hauptsächlich über die Niere, wieder ausgeschieden, beim Kind wird es in Apatitverbindungen (Knochen, Zähne) eingebaut.

Der natürliche Plasmafluoridgehalt des Blutes liegt konstant bei 0,01 - 0,02 ppm (Patz 1975), kann aber nach oraler Aufnahme von Fluoriden innerhalb von 30 - 60 min bis auf 0,05 ppm ansteigen (Hefti 1986). Wird Fluorid systemisch verabreicht, so ist die Konzentration des Fluorids im Speichel proportional zu der im Plasma.

2.2 Wirkungsmechanismen von Fluorid

Fluorid kann durch eine Reihe von Wirkungsmechanismen die Entstehung von Karies effektiv verhindern. Der Patient kann daraus, ohne großen Eigenaufwand, Nutzen ziehen (Gülzow 1995), sofern er täglich über eine Zahnpasta seinen Zähnen Fluorid als Aminfluorid, Natrium- oder Zinnfluorid oder auch Natriummonofluorophosphat zuführt.

In Anwesenheit von Fluorid werden die permanent an der Schmelzoberfläche ablaufenden Re- und Demineralisationsvorgänge zugunsten der Remineralisation verschoben (Schiffner 2001). Darüber hinaus können Fluoridionen isomorph in das Schmelzkristallgitter eingebaut werden. Da die OH-Gruppen des Hydroxylapatits nur partiell gegen Fluorid ausgetauscht werden (Arends 1990), entsteht Fluorhydroxyapatit. Dieser Austausch bewirkt eine Stabilisierung und erhöhte Säureresistenz des Schmelzes (Larsen und Jensen 1989).

Bei demineralisiertem Schmelz wird verstärkt Fluorid in den Schmelz eingebaut (Haubner 1990). Ist durch einen Säureangriff eine initiale Läsion entstanden, ein so genannter White-Spot mit intakter Schmelzoberfläche, so kann der Schmelz durch die ablaufenden Remineralisationsprozesse in Anwesenheit von Fluorid vollständig wiederhergestellt werden (Hellwig et al. 1999).

Fluoridionen können sich zusammen mit aus dem Schmelz stammenden Kalziumionen auf der Zahnoberfläche niederschlagen und dort eine Kalziumfluoriddeckschicht bilden (Gülzow 1995, Schiffner 2001). Diese Ionen sind nicht in das Kristallgitter eingelagert, bilden aber eine bei neutralen pH-Bedingungen schwer lösliche Schicht. Fällt bei einem Säureangriff der pH-Wert, so gehen Fluoridionen aus dieser Schicht in Lösung und stehen an der Schmelzoberfläche, dort wo eine Demineralisation abläuft, direkt zu Verfügung (Rölla 1988, Rölla und Saxegaard 1990). Die Kalziumfluoriddeckschicht kann als pH-gesteuertes Fluoridreservoir betrachtet werden, das in der Kariesprävention einen hervorgehobenen Stellenwert einnimmt (Ögaard 1990).

Fluoride nehmen an verschiedenen Stellen Einfluss auf den bakteriellen Stoffwechsel (Marsh 1991). So wird die Glykolyse durch die Hemmung der Enolase gestört. Ohne dieses Enzym kann in den Zellen der Bakterien kein Laktat (Klement und Siebert 1985, Wahab et al. 1993) und auch kein Phosphoenolpyruvat gebildet werden. Somit wird die phosphoenolpyruvatabhängige Glukoseaufnahme in die Zelle gehindert (Hamilton 1977 und 1990) und es entsteht weniger Säure, die den pH-Wert in einen für den Zahn kritischen Bereich abfallen ließe. Auch die Bildung extrazellulärer Polysaccharide wird durch diesen zentralen Einschnitt in den Bakterienstoffwechsel reduziert.

Fluoridierter Schmelz kann die initiale Anheftung der Bakterien an die Zahnoberfläche verringern (Zahradnik 1978). Dieser Effekt ist insbesondere bei Aminfluoriden zu beobachten und wird deren Aminteil zugeschrieben (Stösser et al. 1992).

Fluorid setzt schließlich die Säuretoleranz von *Streptococcus mutans* stark herab. Durch die Inhibition der membranständigen ATP-abhängigen Protonenpumpe ist der Protonengradient zusätzlich zur Aufnahme des im Zytoplasma dissoziierten sauren Fluorids herabgesetzt (Hamilton 1990). Das kariogene Potential dieses Leitkeims der Kariesentstehung wird herabgesetzt (Marquis 1990).

Eine bakterizide Wirkung von Fluorid wird bei den in der Plaque zu erzielenden Konzentrationen nicht erreicht (Hellwig et al. 1999).

In vitro laufen alle skizzierten Wirkungsmechanismen von Fluorid parallel zueinander ab und sind gemeinsam für die karieshemmende Wirkung verantwortlich.

2.3 Fluoridabgabe und -wiederaufnahme von/in Glasionomerzement

Die Kariesentstehung wird durch die Anwesenheit von Fluorid gehemmt. Da an den Rändern von Füllungen Sekundärkaries entstehen kann (Mjör 1996 und 1997, Mjör und Qvist 1997), ist eine Verbindung von Fluoriden und Füllungsmaterialien nahe liegend. Glasionomerzemente, lighthärtende Glasionomerzemente, Kompomere und fluoridhaltige Komposite können Fluorid an ihre Umgebung abgeben und zum Teil auch wieder aufnehmen.

Allen Glasionomerzementen ist gemein, dass nach Legen der Füllung die Fluoridabgabe anfangs sehr hoch ist. Nach wenigen Tagen sinkt sie auf ein deutlich niedriges Niveau ab, fällt ein bis eineinhalb Jahre lang weiter ab, gibt dann aber immer noch geringe Mengen Fluorid ab (Creanor et al. 1994, Diaz-Arnold et al. 1995, Hatibovic-Kofman und Koch 1991, Forsten 1998, Smith 1998, Schiffner und von Bröckel 1999).

Die Menge des abgegebenen Fluorids hängt von der Zusammensetzung der Glasionomerzemente ab. Diese differiert leicht zwischen den unterschiedlichen Herstellern. Zusätzlich ist das umgebende Medium für die Menge freigesetzten Fluorids von Bedeutung. Während die Freisetzung in der Mundhöhle stets in Speichel erfolgt, wurde in diversen Untersuchungen als Lagermedium demineralisiertes Wasser benutzt. Dieses Wasser enthält keine Fremdionen. Es besteht somit ein großes Konzentrationsgefälle zwischen Lagermedium und Probe. Dies bewirkt eine erhöhte Freisetzung von Fluorid, welches entlang des Konzentrationsgefälles aus der Glasionomerzementprobe in das demineralisierte Wasser diffundiert (Schiffner und Grundmann 2000, Regel 2004).

Die Bedingungen in der Mundhöhle sind aber gänzlich andere. Dort ist die Füllung von humanem Speichel umgeben, der reich an Ionen ist. Die aus den Versuchsaufbauten mit demineralisiertem Wasser gewonnenen Erkenntnisse lassen sich daher nur bedingt auf die In-vivo-Situation übertragen. So geben in

humanem Speichel gelagerte Proben signifikant weniger Fluorid ab als in demineralisiertem Wasser gelagerte Proben (Rezk-Lega et al. 1991).

Auch in künstlichem Speichel geben Glasionomerzementproben deutlich weniger Fluorid ab als Proben in demineralisiertem Wasser (el Mallakah und Sarkar 1990, Glockmann et al. 1997, Geurtsen et al. 1999, Schiffner und Grundmann 2000, Hattab und Amin 2001, Saul 2002, Regel 2004).

Neben dem beschriebenen Konzentrationsgefälle wird die Fluoridabgabe zusätzlich von dem erworbenen Pellikel beeinträchtigt. Dieses bildet und festigt sich schon in der ersten Stunde nach Benetzung oraler Strukturen mit humanem Speichel aus dessen Proteinen und Glycoproteinen. Es fungiert als Diffusionsbarriere (Hannig 1994a, Creanor et al. 1995). In vergleichenden Untersuchungen zwischen Glasionomerzementproben, deren Oberfläche mit einem Pellikel beschickt wurden und Proben, die ohne Pellikel in demineralisiertem Wasser gelagert wurden, war die Fluoridfreisetzung der Proben mit Pellikel um 74% geringer (Damen et al. 1996). Regel (2004) findet eine Hemmung der Fluoridabgabe unter dem Einfluss von umgebenden Speichelionen und eines umgebenden Pellikels um 70 %.

Da bei der Saccharoseaufnahme die Bakterien in der Mundhöhle Säuren produzieren, kann der pH-Wert auf plaquebedeckten Glasionomerzementfüllungen absinken. Eine in einem angesäuerten Medium gelagerte Glasionomerzementprobe verhält sich wiederum anders als eine in demineralisiertem Wasser oder in künstlichem oder humanen Speichel mit neutralem pH-Wert gelagerte Probe. Die Fluoridabgabe ist nach einmaliger und auch wiederholter Lagerung in angesäuerten Lösungen stark erhöht (Forsten 1990 und 1995, Saul 2002, Schiffner et al. 2004).

Die aus den Glasionomerzementfüllungen abgegebenen Fluoridionen können in den benachbarten Schmelz wieder eingebaut werden. Schmelz, auf oder neben dem kieferorthopädische Brackets mit Glasionomerzement befestigt wurden, weist eine signifikant geringere Kariesinzidenz auf als der Schmelz neben adhäsiv befestigten Brackets (Twetman et al. 1997). Das Kariesrisiko am Kavitätenrand einer Glasionomerzementfüllung ist minimiert (Staehe und Bößmann 1984).

Umfragen unter Zahnärztinnen und Zahnärzten haben ergeben, dass mehrheitlich neben Glasionomerzementfüllungen seltener Karies beobachtet wurde (Forsten 1998).

Es werden nicht alle aus dem Glasionomerzement freigesetzten Fluoridionen wieder in den Schmelz eingebaut. Ein Teil wird an den Speichel abgegeben. So ist nach Legen einer Glasionomerzementfüllung die Fluoridkonzentration im Speichel deutlich höher als vor Legen der Füllung. Untersuchungen haben ergeben, dass eine Fluoridkonzentration von 0,02 – 0,03 ppm vor dem Legen einer Glasionomerzementfüllung selbst ein Jahr später immer noch erhöht bei 0,05 ppm liegen kann (Hatibovic-Kofman und Koch 1991).

Fluorid wird auch in Plaque eingelagert. So wurde ein deutlicher Konzentrationsanstieg von Fluorid in der Plaque, die mit Glasionomerzement befestigte kieferorthopädische Brackets bedeckte, nachgewiesen (Hallgren et al. 1993).

Glasionomerzemente können nicht nur Fluorid abgeben, sondern nach Fluoridbehandlung auch wieder aufnehmen (Preston et al. 1999, Gao et al. 2000). Dieser „recharging“-Effekt wird durch zwei unterschiedliche Ansätze erklärt. Zum einen ist die Oberfläche der Glasionomerzemente porös und bietet den Fluoridverbindungen so die Möglichkeit, sich mechanisch anzuheften und einzulagern. Zum anderen ist eine chemische Bindung zwischen Füllung und Fluorid möglich (Marinelli und Donly 1993).

Das aufgenommene Fluorid wird kurzfristig gebunden und dann wieder abgegeben. Etwa vier Wochen nach der Wiederaufladung mit 1,2%-NaF-Lösung ist ein vor Säure schützender Effekt zu beobachten (Seppä 1994). Die Wiederabgabe aus dem Material ist direkt nach der Refluoridierung erhöht. Die Menge des wieder abgegebenen Fluorids kann höher sein als die initiale Abgabedosis nach dem Legen der Füllung. Sie hält aber nur wenige Tage auf diesem hohen Level an (Creanor et al. 1994, De Witte et al. 2000). Danach sinkt die Fluoridabgabe wieder

bis auf den ursprünglichen Wert vor der „Wiederaufladung“ ab (Forsten 1991, Hatibovic-Kofmann 1996, De Witte 2000, Knop et al. 2003).

Erfolgt eine erneute Fluoridierung der Glasionomierzementprobe, so sind die erhöhten Abgabewerte reproduzierbar (Hatibovic-Kofman et al. 1997, Knop et al. 2003). Die Fluoridabgabe aus Glasionomierzementfüllungen kann auf einem relativ konstanten Niveau gehalten werden, wenn zweimal täglich fluoridiert wird.

Es ist jedoch anzunehmen, dass in der menschlichen Mundhöhle die Wiederaufladungseffekte der Glasionomierzementfüllungen nicht in vollem Umfang den in In-vitro-Versuchen gewonnenen Werten entsprechen, da die Anwesenheit des Pellikels und die Plaque die Fluoridaufnahme deutlich verringern (Creanor et al. 1995).

2.4 Humaner Speichel

Der menschliche Körper produziert im Schnitt täglich 0,5 – 0,7 Liter Speichel (Gülzow 1995). Dieser besteht zu 99% aus Wasser. Der Hauptanteil entsteht in den großen Speicheldrüsen (Glandulae parotidaeae, Glandulae submandibulares und Glandulae sublinguales), der restliche Teil in den akzessorischen kleinen Speicheldrüsen an Gaumen, Zunge, Wangen- und Lippenschleimhaut.

Der Speichel hat unterschiedliche Aufgaben. Sein anorganischer Anteil enthält eine Reihe von Ionen. Hierzu zählen Kalzium, Kalium, Natrium, Magnesium, Phosphat, Bikarbonat, Thiocyanat und Fluorid. Einige Ionen (Bikarbonat- und Phosphat) sind Bestandteile von Puffersystemen der Mundhöhle. Der pH-Wert des Ruhespeichels liegt zwischen 6,5 und 6,9 (Hellwig et al.1995). Einige der in ihm enthaltenen Ionen tragen auch zur post eruptiven Reifung des Schmelzes bei. Durch sie sind Remineralisierungsprozesse erst möglich.

Der Gesamtproteingehalt des Speichels beträgt zirka 3g/l (Gülzow 1995), wobei die Glykoproteine den größten organischen Anteil stellen. Durch die Muzine wird der Speichel viskös und erleichtert damit das Zerkauen der Nahrung, die Gleitfähigkeit des Speisebreis (Bolusbildung) und die Geschmackswahrnehmung. Zusätzlich binden Muzine an die Schmelzoberfläche und tragen somit dazu bei, dass die Zähne wie auch die auskleidende Mundhöhlenschleimhaut mit Feuchtigkeit benetzt werden.

An der Bindung des exogenen Pellikels sind Proteine und Glykoproteine beteiligt. Der Aufbau und die Zusammensetzung des Pellikels hängen von der Lokalisation in der Mundhöhle, der damit verbundenen Speichelfließrate und Speichelzusammensetzung sowie der mechanischen Beanspruchung der jeweiligen Zahnoberfläche ab (Hannig 1999). Das Pellikel reduziert bei einem Säureangriff die Diffusionsgeschwindigkeit der Phosphat- und Kalziumionen und beeinflusst damit die Demineralisation des Schmelzes (Hannig 1999). Es ist aber auch für die Bakterienanheftung am Zahn mitverantwortlich.

Enzyme, wie z.B. Amylase spalten schon in der Mundhöhle Kohlehydratketten (Verdauungsfunktion).

Neben der mechanischen Reinigung der Zahnoberflächen von Nahrungsresten und Bakterien durch das Fließen des Speichels, der so genannten Clearance, sind im Speichel Lysozym, Laktoperoxidase, Laktoferrin und spezifische Antikörper (Ig-A, Ig-M, Ig-G) enthalten (Hellwig et al. 1995). Während Immunglobulin A das Wachstum und die Enzymaktivität von *Streptococcus mutans* einschränkt (Olsson et al. 1981), hemmen die übrigen Systeme unspezifisch die Stoffwechselfvorgänge einiger Bakterien.

2.5 Zahnschmelz

Der Zahnschmelz ist die härteste Struktur des menschlichen Körpers. Er besteht zu 95 Gewichts- und zu 86 Volumenprozent aus anorganischem Material. Den restlichen Anteil stellen Wasser und die organische Matrix. Kalziumphosphat bildet den Hauptteil der kristallinen Struktur. Diese kann in verschiedenen Formen vorliegen, wobei am häufigsten das Apatit auftritt, welches die stabilste und energieärmste Form ist. Vor allem kommt im Schmelz Hydroxylapatit (HAP) vor, daneben aber auch Dikalziumphosphatdihydrat (DCPD) und Oktakalziumphosphat (OCP). HAP geht häufig Bindungen mit Fremdionen ein. Fluorid, Magnesium oder Karbonat können u.a. an Leerstellen in das Ionengitter eingebaut werden. Somit liegen vor allem Fluorapatit, Fluorhydroxylapatit und Carbonapatit als Mischformen des Apatits vor. Durch die Einlagerung von Fluorid wird die Kristallstruktur des Schmelzes resistenter gegen Säuren. Die die Schmelzprismen umgebende interprismatische Flüssigkeit bestimmt die ionische Zusammensetzung der Zahnoberfläche (Fischer et al. 1995).

Der Schmelz bleibender Zähne ist strukturiert. Im Schliffbild erscheint eine oberflächliche prismenfreie, ca. 20-80 µm dicke Schicht. Hunter-Schreger-Streifen erscheinen angeschnitten als Para- und Diazonien. Auch sind Retzius-Streifen, die die periodischen ablaufenden Verkalkungen widerspiegeln, zu erkennen. Diese enden als Perikymatien an der Schmelzoberfläche, verschwinden aber durch Abrasion und Attrition mit der Zeit.

Der Schmelz enthält keine Zellen oder Zellfortsätze und ist somit nicht erneuerbar. Jedoch ist eine posteruptive Schmelzreifung durch Einlagerung von Ionen aus der umgebenden Flüssigkeit möglich. Präeruptiv kann systemisch verabreichtes Fluorid die Bildung der Schmelzstruktur beeinflussen, wobei eine längerfristige leichte Überdosierung zur Schmelzfluorose führt.

3 Material und Methode

3.1 Zahnmaterial

Es wurden zwei Versuchsansätze mit Schmelz menschlicher Zähne gebildet, in denen der Schmelz von Milch- oder bleibenden Zähnen verwendet wurde. Als Milchzahnschmelz wurden extrahierte oder ausgefallene Milchmolaren und Milchfrontzähne verwendet. Diese Vielfalt des verwendeten Schmelzes wurde in Kauf genommen, da die Beschaffung der Milchzähne erhebliche Schwierigkeiten bereitete. Der Schmelz bleibender Zähne wurde aus chirurgisch entfernten, retinierten dritten Molaren mit abgeschlossenem Wurzelwachstum gewonnen. Die Zähne wurden nach der Extraktion in Wasser gelagert. Die Reinigung erfolgte mit dem Einmalskalpell und 3%iger Wasserstoffperoxid-Lösung. Nach der Säuberung wurden Zähne mit intakten Schmelzoberflächen herausgesucht.

Aus den Zahnoberflächen wurden unter Wasserkühlung, je nach Größe des Zahnes, 2 - 4 ungefähr gleich große Plättchen mit einer diamantierten Trennscheibe geschnitten. Dabei wurde auf eine schwach gewölbte Oberfläche geachtet. Die Kantenlängen der rechteckigen Plättchen wurden mittels Schieblehre (AMC Fontana) auf einen Zehntel-Millimeter vermessen, um hieraus die Fläche der Schmelzproben zu errechnen.

Es wurden aus den Milchzähnen 2 Gruppen zu 10 Schmelzplättchen und aus den dritten Molaren 2 Gruppen zu 12 Schmelzplättchen erstellt. Es standen somit 20 Proben mit Milchzahnschmelz 24 Proben mit dem Schmelz permanenter Zähne gegenüber. Diese wurden bis zum Versuchsbeginn in einer feuchten Kammer gelagert.

3.2 Glasionomerzement

Als Glasionomerzement wurde das Füllungsmaterial Ketac-Fil Plus, Aplicap, Farbe A3, der Firma 3M-ESPE Dental AG (Seefeld, Germany), mit einer Füllmenge von 360 mg pro Kapsel verwendet. Die Kapseln enthalten Pulver, welches aus Ca-Na-

F-P-Al-Silikatglas besteht, und Flüssigkeit, die sich aus Polyacrylsäure, Polymaleinsäure, Weinsäure, Benzoesäure und Wasser zusammensetzt.

3.3 Fluoridlösung

Es wurde eine 200-ppm-Fluoridlösung für die Refluoridierung der Glasionomerzementproben neben dem Zahnschmelz der bleibenden Zähne erstellt, da dieser Gehalt der mittleren Fluoridkonzentration im Zahnpasta-Speichel-Gemisch während des Zähneputzens eines Erwachsenen entspricht (Fischer 2001). Hierzu wurden 884 mg Natriumfluorid in 2000 ml Aqua bidest. gelöst.

Für die Refluoridierung der Glasionomerzementproben neben den aus den Milchzähnen entnommenen Schmelzabschnitten wurde eine 100-ppm-Fluoridlösung verwendet, um die im Vergleich zum Erwachsenen geringere Fluoridkonzentration beim Putzen mit einer Kinderzahnpaste zu simulieren. Die Lösung wurde durch Einbringen von 442 mg Natriumfluorid in 2000 ml Aqua bidest. hergestellt.

3.4 Künstlicher Speichel

Um den künstlichen Speichel herzustellen wurden 12,00 g KCl und 8,43 g NaCl in 10 l Aqua bidest. gelöst, anschließend wurden 3,42 g $K_2HPO_4 \times 3 H_2O$ dazugegeben. Durch die Zugabe von 5,0 ml 1M HCl und 1,46 g $CaCl_2$ wurde ein nahezu neutraler pH-Wert von 6,9 erreicht (Matzker und Schreiber 1972).

3.5 Herstellung der Proben

Zur Herstellung identisch großer Glasionomerzementproben und zu ihrer gleichzeitigen Fixierung wurden Plastiktrinkhalme mit einem Durchmesser von 5 mm benutzt. In ein Ende ca. 3 cm langer Abschnitte dieser Halme wurden 2 - 3mm dicke Glasionomerzementschichten eingebracht. Hierzu wurde der Zement

entsprechend den Herstellerangaben nach Aktivierung der Kapsel 10 Sekunden lang mit dem Rüttler (ESPE Capmix; Seefeld, Germany) gemischt. Nach dem Applizieren des Zementes in das Halmende wurde die freie Materialoberfläche mit einem Schaumstoff-Schwämmchen geglättet.

Anschließend wurden die Plastikröhrchen von ihrem offenen Ende her zur Stabilisierung mit Palavit G (Heraeus Kulzer; Hanau, Deutschland) ausgegossen (Abbildung 3-1). Ebenfalls mit Palavit G wurden die Plastikhalme dann fest in die Deckel von Plastikgefäßchen (12ml, 40x 23,5 mm; Sarstedt, Deutschland) eingebettet.

Am Ende eines zweiten Plastikröhrchens, welches ebenfalls mit Palavit stabilisiert worden war, wurde jeweils eine Schmelzprobe angebracht. Hierzu wurde das Schmelzplättchen mit grünem Modellier- und Gusswachs (Prepon, Bayer Dental, Lanzetten grün) so befestigt, dass alle Kanten gefasst waren und nur die Schmelzoberfläche an der Stirnseite des Röhrchens frei lag.

Die Plastikhalme mit den Zahnschmelzproben wurden zu den Plastikgefäß-Deckeln, in denen sich schon die Glasionomierzementproben befanden, in ca. 4 mm Abstand hinzugefügt (Abbildung 3-2). Ein Teil der Schmelzproben wurde dabei fest im Deckel verankert, ein anderer Teil war hingegen herausnehmbar eingebettet.

Alle Proben wurden in einer feuchten Kammer bei 6 Grad Celsius bis zum Versuchsbeginn gelagert.



Abbildung 3-1: Herstellung der Probekörper: Einbringen der Schmelzproben in die Gefäßdeckel



Abbildung 3-2: Ein Probekörper mit Glasionomerzement (roter Schaft) und Schmelzprobe (grüner Schaft) im Lagergefäß-Deckel

3.6 Versuchsaufbau

Für die Untersuchung wurden 24 Schmelzproben aus bleibenden Zähnen (2x12) und 20 Proben aus Milchzähnen (2x10) verwendet. Ziel war es, die Fluoridabgabe aus einer Glasionomerzementfüllung im Vergleich zur Abgabe aus einer refluoridierten Glasionomerzementfüllung neben Zahnschmelzproben aus permanenten oder Milchzähnen zu ermitteln. Dabei sollte eine Reihe von Parametern der menschlichen Mundhöhle simuliert werden.

Die Zielvariable der Untersuchung war die Fluoridfreisetzung aus dem Füllungsmaterial, welche in Abhängigkeit von der Refluoridierung des Zementes und vom benachbarten Zahnmaterial (bleibender oder Milchzahnschmelz) bestimmt werden sollte. Daher wurden vier Untersuchungsgruppen gebildet, in denen jeweils Glasionomerzementproben neben den verschiedenen Schmelzarten gelagert und teilweise fluoridiert wurden. Der Zahnschmelz wurde in keiner Untersuchungsgruppe direkt fluoridiert, sondern es wurde dank der aus den Halterungen in den Lagerungsgefäßen herausnehmbaren Schmelzanteile nur der Zement refluoridiert. Tabelle 3-1 gibt einen Überblick über die Untersuchungsgruppen.

Gruppe MA	Glasionomerzement neben Milchzahnschmelz, keine Fluoridierung
Gruppe MB	Glasionomerzement neben Milchzahnschmelz, Fluoridierung des Zementes mit einer 100-ppm-Fluoridlösung
Gruppe A	Glasionomerzement neben dem Schmelz bleibender Zähne, keine Fluoridierung
Gruppe B	Glasionomerzement neben dem Schmelz bleibender Zähne, Fluoridierung des Zementes mit einer 200-ppm-Fluoridlösung

Tabelle 3-1: Untersuchungsgruppen

Jeden Morgen wurden alle Proben (Schmelz und Glasionomerzement) mit frischem humanen Speichel beschickt und danach für 60 Minuten zur Pellikelbildung ruhend belassen. Anschließend wurden die Proben für 10 Sekunden mit demineralisiertem Wasser gespült.

Die Proben der Gruppen A und MA wurden in neue Plastikgefäße, die mit 2,5ml frischem künstlichen Speichel gefüllt waren, gegeben, ohne dass eine weitere Behandlung erfolgt wäre.

Die Schmelzanteile aus den Gruppen B und MB hingegen wurden täglich vorübergehend aus den Gefäßdeckeln entfernt. Die in den Gefäßdeckeln verbliebenen Glasionomierzementproben wurden während dieser Zeit mit den jeweiligen Fluoridlösungen fluoridiert. Hierzu wurden alle Proben einer Gruppe gemeinsam in Körbe aus verzinktem Gitterdraht (1cm Maschen) gestellt. Die „Milchzahngruppe“ (MB) wurde in eine Plastikschiene (Curver; 30x15 cm, 15*7,5 cm) mit der 100-ppm-NaF-Lösung gestellt, die Proben der neben bleibendem Schmelz angebrachten Zementproben (B) in eine baugleiche Plastikschiene, die mit der 200-ppm-NaF-Lösung befüllt war. Die in die Plastikschiene gestellten Proben wurden mit einem Schwenk-Rüttler (Fa. Gerhardt) langsam (Stufe 1) drei Minuten lang bewegt.

Nach abgelaufener Zeit wurden die Proben aus den NaF-Lösungen genommen und 30 Sekunden lang mit bidestilliertem Wasser abgespült. Anschließend wurden die zuvor entfernten Schmelzproben wieder neben den refluoridierten Glasionomierzementproben befestigt. Es folgte die einstündige Pellikelbildung, und das Umsetzen in neue, mit 2,5 ml frischem künstlichen Speichel gefüllte Plastikgefäße.

Sämtliche Proben wurden für die nächsten 8 Stunden in einem hierfür angefertigten Gitterkorb, der zur besseren Handhabung Griffe aus Silikon (Silagum Putty Soft, DMG Hamburg) hatte, in ein Schwenkwasserbad (Firma GLF) bei 37 Grad Celsius und 17% Schwenkbewegung gestellt.

Die Versuchsdauer betrug 28 Tage. Die Fluoridierung bzw. das Umsetzen der Proben erfolgte jeden Tag zwei Mal, wodurch zweimal tägliches Zähneputzen simuliert werden sollte. Am Morgen um 9 Uhr wurde die gesamte beschriebene Prozedur durchgeführt, während abends um 18 Uhr auf die Erstellung eines neuen Pellikels verzichtet wurde.

3.7 Fluoridbestimmung im künstlichen Speichel

Zur Bestimmung der Fluoridfreisetzung in den künstlichen Speichel wurde der hierin enthaltene Fluoridgehalt gemessen. Hierfür wurde der künstliche Speichel nach dem 1., 2., 4., 7., 14., 21. und 28. Tag der Lagerung verwendet. Um den Fluoridgehalt zu bestimmen, wurde zunächst eine Eichkurve mittels einer Verdünnungsreihe erstellt. Eine 100 ppm (mg/l) Fluoridlösung wurde mit Aqua bidest. auf eine 10-ppm-Lösung verdünnt. Mit dieser 10-ppm-Standardlösung erfolgte die Herstellung der Verdünnungsreihe (Tabelle 3-2):

5 ppm F ⁻	=	25 ml F ⁻ - Standardlösung + 25 ml Aqua bidest.
2 ppm F ⁻	=	10 ml F ⁻ - Standardlösung + 40 ml Aqua bidest.
1 ppm F ⁻	=	5 ml F ⁻ - Standardlösung + 45 ml Aqua bidest.
0,5ppm F ⁻	=	25 ml F ⁻ - Standardlösung + 475 ml Aqua bidest.
0,2ppm F ⁻	=	1 ml F ⁻ - Standardlösung + 49 ml Aqua bidest.
0,1ppm F ⁻	=	0,5 ml F ⁻ - Standardlösung + 49,5 ml Aqua bidest.
0,05ppm F ⁻	=	0,25 ml F ⁻ - Standardlösung + 49,75 ml Aqua bidest.

Tabelle 3-2: Verdünnungsreihe

In Plastikgefäße wurden zu 2 ml der angesetzten Lösungen 2 ml Standard-Elektrolytlösung TISAB II (Orion, Massachusetts, USA) pipettiert. Mit einer fluoridsensitiven Elektrode (Thermo Orion; Model 94-09) wurden zu jedem Verdünnungsansatz die relativen mV am Messgerät (Orion Research Inc.; Model 720A) abgelesen. Jede Messung wurde fünf Mal durchgeführt und es wurden Mittelwerte gebildet. Auf halblogarithmischem Papier wurden die Fluoridkonzentrationen in ppm gegen die Potentialdifferenz in relativen mV aufgetragen.

Mit den Proben des Lagerungsmediums der oben aufgeführten Tage wurde später ebenso verfahren. Es wurden 2 ml der Probe mit 2 ml TISSAB II in ein Plastikgefäß gegeben, und unter ständigem Rühren mit einem Magnetrührer wurde nach 15 Minuten die Potentialdifferenz in relativen mV am Messgerät abgelesen. Anhand der Eichkurve wurde die Fluoridkonzentration ermittelt.

Eine Zwischeneichung wurde mit einer 0,5-ppm-Fluoridstandardlösung nach jeder zweiten Messung vorgenommen. Bei starken Abweichungen wurde die vorangegangene Messung wiederholt.

3.8 Statistik

Für die Versuchsreihen mit den permanenten Zähnen und den Milchzähnen wurden jeweils die Mittelwerte der Fluoridkonzentrationen berechnet. Diese wurden auf die Oberfläche der Glasionomerezementproben bezogen und als μg Fluorid pro cm^2 Füllungsfläche angegeben. Die Ergebnisse wurden statistischen Tests unterzogen, um ein zufälliges Zustandekommen auszuschließen. Die statistische Auswertung erfolgte mit dem Computerprogramm SPSS vs. 11.5 (SPSS Inc.).

Zum Vergleich der Ergebnisse für die Fluoridfreisetzung neben den permanenten Zähnen und den Milchzähnen und für die Vergleiche der refluoridierten bzw. der nicht-refluoridierten Zementgruppen untereinander wurde der parameterfreie Mann-Whitney-Test herangezogen. Dieser Test berechnet die Irrtumswahrscheinlichkeit p zur Überprüfung einer Differenz zwischen zwei Gruppen. Bei ihm wird jeder Probe mit ansteigendem Messwert ein Rang zugeteilt. Es wird die Rangsumme jeder Messreihe gebildet, und aus der Differenz wird die Wahrscheinlichkeit (Irrtumswahrscheinlichkeit p) errechnet, mit der sich die Ergebnisse der beiden Gruppen nicht zufällig unterscheiden.

Ein niedriger p -Wert ist mithin Ausweis einer statistisch signifikanten Differenz. In Übereinstimmung mit der üblichen statistischen Vorgehensweise wurde festgelegt, dass die Irrtumswahrscheinlichkeit p eine Signifikanzschwelle Alpha von 0,05 unterschreiten müsse, um einen signifikanten Unterschied anzuzeigen. Eine hoch signifikante Differenz lag bei Unterschreiten von Alpha = 0,01 vor.

4 Ergebnisse

Für die Refluoridierung der Glasionomierzementproben neben permanenten Zähnen oder Milchzähnen - die Untersuchungsgruppen sind nochmals in Tabelle 4-1 aufgeführt - wurde bei den Milchzähnen eine 100-ppm- und bei den permanenten Zähnen eine 200-ppm-Lösung verwendet. Die Fluoridierungsdauer betrug morgens und abends je drei Minuten.

Gruppe MA	Keine Refluoridierung
Gruppe MB	Nur Glasionomierzement mit 100 ppm Fluorid refluoridiert
Gruppe A	Keine Refluoridierung
Gruppe B	Nur Glasionomierzement mit 200 ppm Fluorid refluoridiert

Tabelle 4-1: Vorgehensweise bei den Gruppen mit Milchzahnschmelz oder permanentem Schmelz

In den Tabellen 4-2 und 4-3 sind die im künstlichen Speichel gemessenen Mittelwerte der Fluoridkonzentrationen in $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ aufgelistet.

Tabelle 4-2 gibt die Werte der Milchzahnguppen MA und MB wieder. Der Mittelwert und die Standardabweichung wurden aus den 10 Messwerten der jeweiligen Gruppe des entsprechenden Untersuchungstages errechnet. Zusätzlich wurde für beide Gruppen die gesamte Fluoridmenge durch Addition der Messwerte der einzelnen Tage errechnet.

	Gruppe MA	Gruppe MB
Tag 1	10,6 (± 4,7)	13,4 (± 2,2)
Tag 2	7,9 (± 5,3)	5,9 (± 2, 4)
Tag 4	7,2 (± 12,9)	5,2 (± 2,2)
Tag 8	4,2 (± 4,7)	3,9 (± 1,5)
Tag 14	2,5 (± 5,2)	1,7 (± 0,8)
Tag 21	2,6 (± 2,9)	2,3 (± 0,4)
Tag 28	2,2 (± 2,2)	3,0 (± 1,2)
gesamt	37,2 (± 23,6)	35,5 (± 4,1)

Tabelle 4-2: Fluoridfreisetzung in künstlichen Speichel aus Glasionomerezementproben neben Milchzahnschmelz (Mittelwerte und Standardabweichungen)

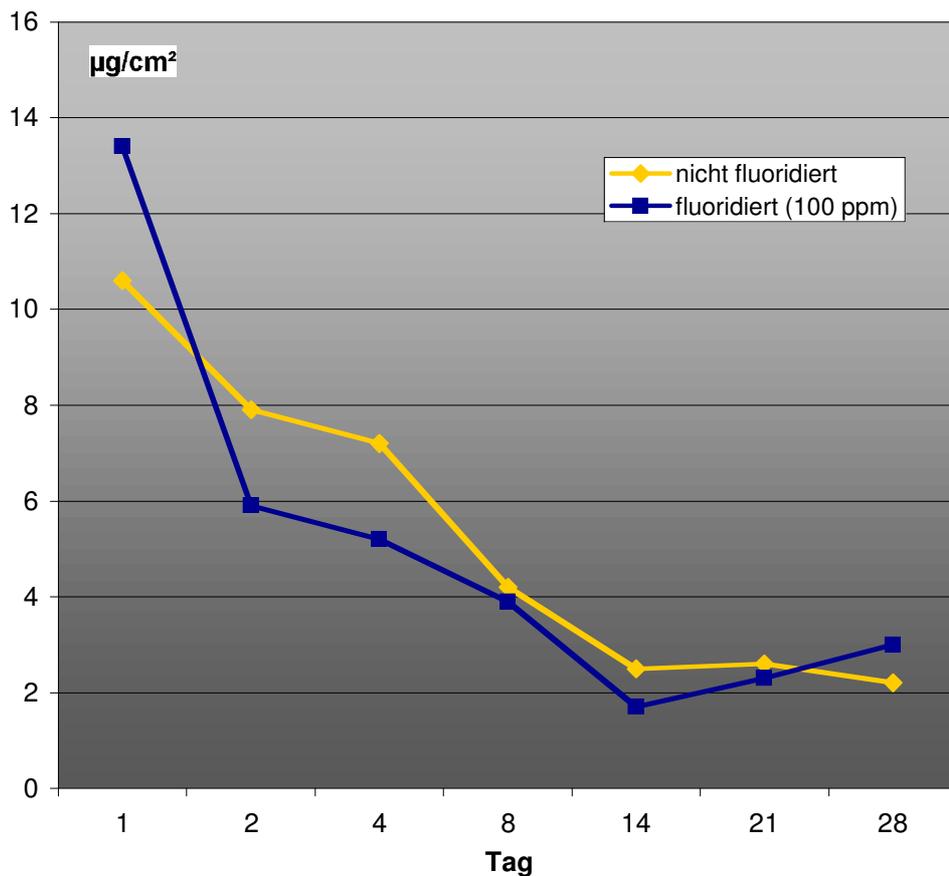


Abbildung 4-1: Fluoridfreisetzung in künstlichen Speichel aus Glasionomerezementproben neben Milchzahnschmelz

In Abbildung 4-1 ist der Verlauf der Fluoridabgabe in den „Milchzahngruppen“ MA und MB aus dem Zement in den künstlichen Speichel über die gesamte Versuchsdauer von 28 Tagen dargestellt. Initial ist die Fluoridabgabe bei beiden Gruppen am höchsten, wobei die der MB-Gruppe die der MA-Gruppe übersteigt. In beiden Gruppen sinkt die Fluoridfreisetzung stetig bis zum 14. Tag. Während dies in Gruppe MA weiterhin der Fall ist, kann in der Gruppe MB mit den refluoridierten Zementproben ein leichter Anstieg der Freisetzung verzeichnet werden.

Für die gesamte Fluoridfreisetzung nach 28 Tagen konnte beim statistischen Vergleich mittels Mann-Whitney-Test mit $p = 0,089$ kein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen MA und MB ermittelt werden.

In Tabelle 4-3 sind die Werte der Fluoridfreisetzung aus Glasionomierzement neben permanentem Zahnschmelz aufgeführt. Mittelwert und Standardabweichung wurden aus den 12 Messwerten der jeweiligen Probengruppe des entsprechenden Tages errechnet. Zusätzlich wurde die gesamte Fluoridmenge durch Addition der Messwerte für beide Gruppen errechnet.

	Gruppe A	Gruppe B
Tag 1	17,0 (± 11, 1)	18,2 (± 6,9)
Tag 2	7,5 (± 2,6)	9,2 (± 2,9)
Tag 4	3,6 (±2,8)	8,8 (± 2,3)
Tag 8	3,6 (± 1,2)	6,5 (± 4,1)
Tag 14	1,6 (± 0,9)	4,3 (± 3, 2)
Tag 21	2, 2 (± 0,3)	4,2 (± 1,2)
Tag 28	2,3 (± 1,2)	4,8 (±1,4)
gesamt	37,9 (± 10,2)	56 (± 8,6)

Tabelle 4-3: Fluoridfreisetzung in künstlichen Speichel aus Glasionomerezementproben neben dem Schmelz bleibender Zähne (Mittelwerte und Standardabweichungen)

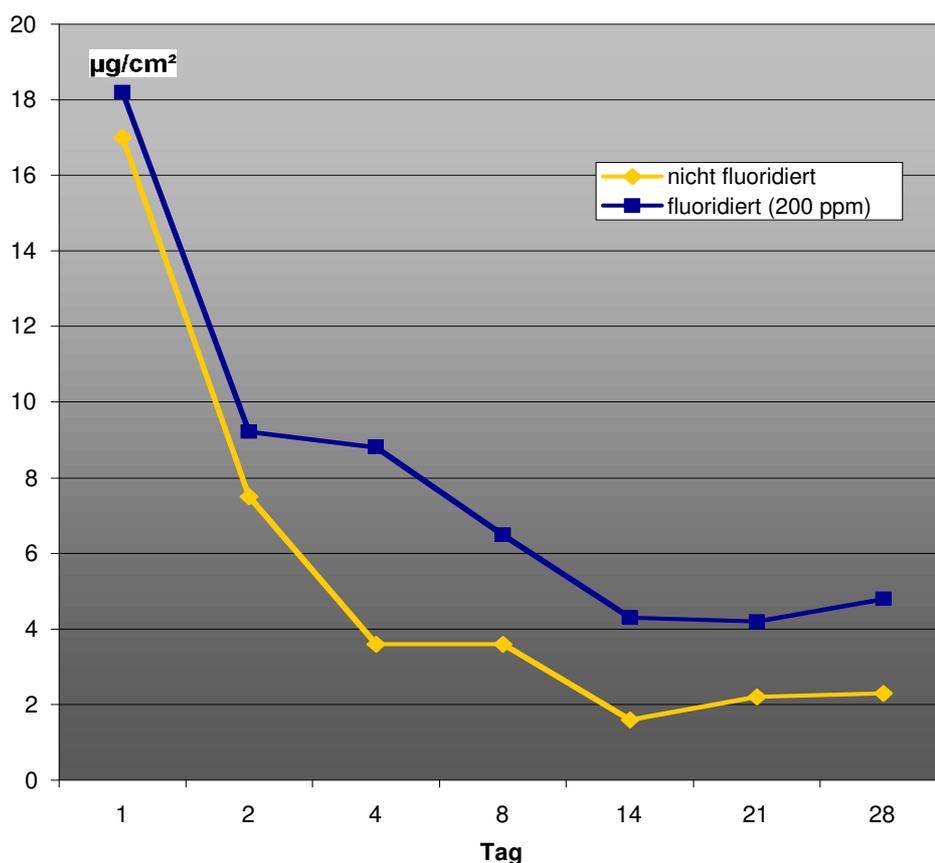


Abbildung 4-2: Fluoridfreisetzung in künstlichen Speichel aus Glasionomerezementproben neben dem Schmelz bleibender Zähne

In der Abbildung 4-2 ist der Verlauf der Fluoridabgabe aus dem Glasionomerzement neben den Schmelzproben permanenter Zähne aufgezeigt. Wie auch bei den Milchzahnguppen sinkt die Fluoridabgabe nach einem initialen Hoch am 1. Tag ab. Dieser Abfall der freigesetzten Fluoridmenge ist bei der nicht fluoridierten Gruppe A ab dem 4. Tag deutlich stärker ausgeprägt als in der regelmäßig mit 200 ppm Fluorid fluoridierten Gruppe B. In Gruppe A wird knapp die Hälfte der in Gruppe B gemessenen Fluoridmenge freigesetzt. Ab diesem Tag ist die Differenz der täglich freigesetzten Fluoridmenge zwischen den beiden Gruppen in etwa konstant.

Für die Gesamt-Fluoridfreisetzung konnte zwischen den Gruppen A und B beim statistischen Vergleich mittels Mann-Whitney-Test mit $p < 0,001$ ein hoch signifikanter Unterschied zugunsten der Gruppe mit dem „wiederaufgeladenen“ Zement belegt werden.

Die beiden folgenden Abbildungen illustrieren die Gegenüberstellung der unter gleichen Bedingungen (fluoridiert bzw. nicht fluoridiert) aus dem Glasionomerzement freigesetzten Fluoridmengen in Abhängigkeit von der Art des benachbarten Zahnschmelzes. Zunächst werden die beiden Gruppen verglichen, bei denen der Glasionomerzement nicht wiederaufgeladen wurde (Abbildung 4-3).

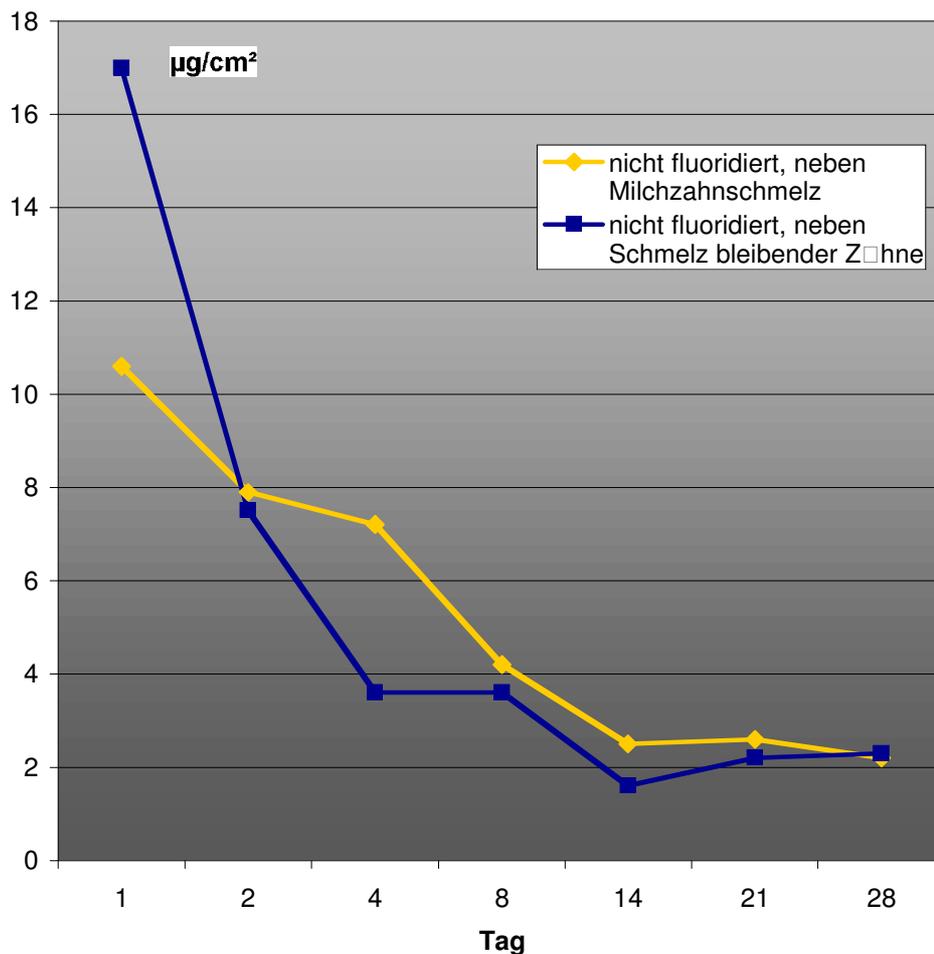


Abbildung 4-3: Fluoridfreisetzung in künstlichen Speichel aus Glasionomerezementproben neben Milchzahnschmelz oder neben Schmelz bleibender Zähne ohne Refluoridierung

Am ersten Tag liegt die neben dem Schmelz der permanenten Zähne aus dem Zement freigesetzte und im künstlichen Speichel nachgewiesene Fluoridmenge deutlich über der Freisetzung aus dem neben dem Milchzahnschmelz gelagerten Zement. Für beide Gruppen fällt die Fluoridkonzentration im künstlichen Speichel stetig ab. Der Rückgang der nachgewiesenen Schmelzmenge ist neben dem Schmelz permanenter Zähne bis zum 4. Tag allerdings sehr viel ausgeprägter als neben den Milchzähnen. Ab etwa dem 8. Tag ist die gemessene Fluoridkonzentration in beiden Gruppen gleich. Hieraus resultiert in der Addition der täglich bestimmten freien Fluoridmengen nach 28 Tagen in den beiden Gruppen eine fast identische Abgabe aus dem Zement (Gruppe MA: 37,2 µg/cm², Gruppe A:

37,9 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$). In der statistischen Überprüfung wird im Widney-Mann-Test ein p-Wert von 0,166 errechnet, der eine hypothetische signifikante Differenz zwischen den Messwerten beider Gruppen zurückweist.

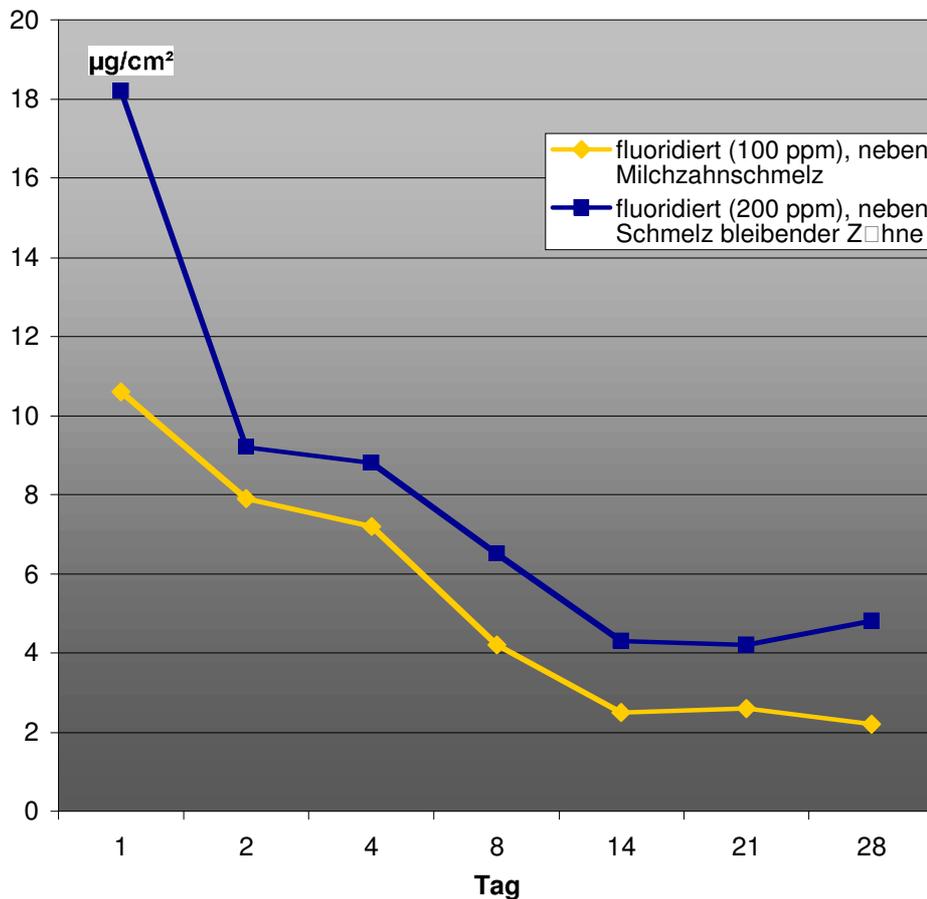


Abbildung 4-4: Fluoridfreisetzung in künstlichen Speichel aus Glasionomerezementproben neben Milchzahnschmelz oder Schmelz bleibender Zähne mit Refluoridierung

In Abbildung 4-4 werden die Fluoridmengen gegenübergestellt, die aus den neben Milchzahnschmelz oder Schmelz bleibender Zähne gelagerten refluoridierten Glasionomerezementproben freigesetzt wurden (Gruppen MB und B). Beim Vergleich der beiden Gruppen ist ein nahezu paralleler Verlauf der Kurven abzulesen. Die Fluoridkonzentration im künstlichen Speichel neben den permanenten Zähnen liegt dabei stets über der neben den Milchzähnen bestimmten Konzentration. Beide Kurven fallen innerhalb der ersten 24 Stunden stark und dann bis zum 14. Tag

mäßig ab. Hieraus resultiert nach 28 Tagen eine aus dem refluoridierten Zement bestimmte Gesamtfluoridmenge neben bleibendem Schmelz von $55,9 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ und neben Milchzahnschmelz von $35,5 \mu\text{g}/\text{cm}^2$. Es besteht ein hochsignifikanter Unterschied ($p < 0,001$).

5 Diskussion

Mit dieser Untersuchung sollte zum einen die Freisetzung von Fluorid aus Glasionomierzement bei Simulation verschiedener Parameter der menschlichen Mundhöhle erfasst werden. Neben mehreren bereits als bedeutsam für die Fluoridfreisetzung bekannten Parametern wie dem umgebenden Lagerungsmedium (siehe Diskussion der Methode) sollte die Auswirkung einer Refluoridierung des Zementes überprüft werden. Ein zentrales Anliegen der Studie war dabei die Anwendung von Fluorid in solchen, vergleichsweise geringen, Konzentrationen, wie sie infolge der Speichelverdünnung von Zahnpasten in der Mundhöhle vorkommen. Zum anderen sollte durch die Studie eine Einschätzung ermöglicht werden, inwieweit Versuche über den Effekt von Glasionomierzementen auf die Fluoridaufnahme von Zahnschmelz, die mit bleibendem Schmelz durchgeführt werden, einen Rückschluss auf die Aufnahme in Milchzahnschmelz zulassen. Hintergrund dieser Fragestellung ist der Umstand, dass die weitaus meisten Studien mit Zahnschmelz bleibender Zähne arbeiten, dass jedoch eine wichtige Indikation der klinischen Anwendung von Glasionomierzementen in der Versorgung von Milchzahnkavitäten liegt (Krämer 1997).

5.1 Diskussion der Methodik

Bei der Untersuchung wurde die Abgabe von Fluorid aus Glasionomierzement gemessen, um auf diese Weise auch einen Rückschluss auf die Fluorideinlagerung in den Schmelz aus permanenten Zähnen oder aus Milchzähnen treffen zu können. Die Methodik zur Bestimmung der Fluoridfreisetzung aus Glasionomierzement in umgebende Lagerungsmedien wurde vielfach angewendet und kann als etabliert gelten (Takahashi et al. 1993, Seppä 1994, Donly et al. 2002). Auch wurde künstlicher Speichel als Lagerungsmedium bereits mehrfach herangezogen (El Mallakah und Sarkar 1990, Glockmann et al. 1997, Hattab und Amin 2001, Saul 2003), und Aussagen über die „Wiederaufladung“ des Zementes durch

Fluoridarricherungen wurden ebenfalls publiziert (Preston et. al. 1999, Gao et. al. 2000). Methodisch neu ist die Verwendung von Fluoridlösungen in geringen Konzentrationen, die der oralen Situation während des Zähneputzens entsprechen (Fischer 2001). Ebenfalls neu ist der Ansatz, durch die Gegenwart von Zahnschmelz aus bleibenden Zähnen oder aus Milchzähnen eine orientierende Aussage über die Übertragbarkeit der mit bleibendem Zahnschmelz gewonnenen Erkenntnisse auf die Situation im Milchgebiss treffen zu wollen.

Glasionomerezementproben

Zur Herstellung der Materialproben wurde der Glasionomerezement Ketac Fil® Plus verwendet. Dieser Zement wird klinisch für provisorische Füllungen und für kleinere, weniger belastete permanente Füllungen verwendet. Besondere Indikationsgebiete sind wegen der Haftung am Dentin die Versorgung von Zahnhals- und Wurzeldefekten (Hellwig et al. 1995) sowie wegen der Fluoridabgabe die Versorgung von Milchzahnkavitäten.

Die Zementproben wurden nach Herstellerangaben gefertigt und entsprachen in ihrer Größe (Durchmesser 5 mm) oralen Zahnkavitäten. Die freie Materialoberfläche wurde geglättet, um die Überlagerung der chemischen Fluoridaufladung durch mechanische Effekte infolge von Oberflächenporositäten so gering wie möglich zu halten.

Zahnmaterial

Es wurde sowohl Zahnschmelz aus bleibenden Zähnen als auch aus Milchzähnen verwendet. Für die Gruppen mit dem permanenten Schmelz wurde dieser aus retinierten dritten Molaren mit abgeschlossenem Wurzelwachstum gewonnen. Diese Zähne hatten allesamt keinen Kontakt zur Mundhöhle gehabt. Hierauf wurde Wert gelegt, da Zahnschmelz in der Mundhöhle aus dem Speichel Mineralien, aber auch aus Zahnpasten und Speichel Fluorid aufnimmt (Creanor et al. 1994). Dadurch sollte eine Vergleichbarkeit des Schmelzreife-Grades der Proben (Mineralgehalt) erzielt werden. Retinierte Weisheitszähne stehen für experimentelle Zwecke hinreichend zur Verfügung, da häufig wegen Platzmangels in den Zahnreihen Weisheitszähne nicht in die Mundhöhle durchbrechen können und dann

durch Osteotomie entfernt werden müssen. Eine sorgfältige Auswahl konnte getroffen werden, so dass die gewonnenen Schmelzplättchen in ihrer Oberflächenstruktur (Wölbung) vergleichbar waren. Es wurden zwei Gruppen á 12 Proben erstellt.

Die Beschaffung von geeigneten Milchzähnen stellte sich hingegen als schwieriger dar. Für die Osteotomie eines humanen Milchzahns gibt es sehr wenige Indikationen. Somit musste auf bereits in der Mundhöhle in Funktion gewesene Zähne zurückgegriffen werden. Diese fallen im Rahmen der natürlichen Exfoliation aus oder werden auf Grund starker Zerstörung extrahiert. Letztere Zähne eigneten sich jedoch für den Versuch überhaupt nicht, da die Karies einen Endzustand erheblichen Mineralverlustes dokumentiert. Daher musste auf physiologischerweise exfoliierte Milchzähne zurückgegriffen werden. Klassischerweise werden die Milchzähne von deutschen Kindern (z.B. für die „Zahnfee“) oder ihren Eltern gesammelt. Somit stellte sich ein Abwerben der Milchzähne mitunter als sehr schwierig dar. Daher wurden für die Gruppe der Milchzähne, im Gegensatz zu den permanenten Zähnen, Abstriche bezüglich Zahnart und Oberflächenwölbung akzeptiert. Auch hatten die Milchzähne Kontakt zur Mundhöhle und dort zu den Mineralquellen Speichel und Zahnpaste gehabt. Auf Grund der schwierigen Beschaffung wurden in den zwei Untersuchungsgruppen jeweils nur 10 Proben untersucht.

Es wurde versucht, die Oberflächengröße der Zahnproben in etwa gleich zu halten. Jedoch nimmt eine unterschiedliche Wölbung der Probe zusätzlich zur Kantenlänge Einfluss auf die tatsächliche Oberfläche. Hieraus können geringe Ungenauigkeiten bei der Berechnung der Oberflächengröße resultieren.

Die Schmelzproben wurden mit einer frisch gelegten Glasionomerezement-Probe zusammen in einem Gefäß gelagert. Der Abstand zwischen ihnen betrug ca. 4mm. Hiermit wurde eine enge räumliche Situation simuliert, wie sie klinisch zwischen einer Glasionomerezementfüllung und einem benachbarten Zahn vorkommen kann. Die experimentelle Anordnung ließ jedoch die Möglichkeit der Trennung von

Zement- und Schmelzprobe zu, um zur Beantwortung einer der Fragestellungen nur den Glasionomorzement fluoridieren zu können.

Lagerungsmedium und Pellikel

Für die Untersuchung wurde künstlicher Speichel als Lagerungsmedium benutzt. Es existieren viele Untersuchungen, bei denen demineralisiertes Wasser als Lagermedium zur Untersuchung der Fluoridfreisetzung benutzt wurde (Hatibovic-Kofman und Koch 1991, Forsten 1991 und 1995, Creanor et al. 1994, Diaz-Arnold et al. 1995, Knop et al. 1997, Preston et al. 1999b, Attin et al. 1999). Der Ionenaustausch in der Mundhöhle entspricht aber nicht dem in demineralisiertem Wasser. Eine Lagerung der Proben in künstlichem Speichel zeigt einen deutlich reduzierten Ionenaustausch (Geurtsen et al. 1999, el Mallakh und Sarkar 1990, Preston et al. 1999, Schiffner und Grundmann 2000, Saul 2002).

Da sowohl die Speichelionen als auch die Proteine des humanen Speichels und des Pellikels Einfluss auf die Ionenfreisetzung aus Glasionomorzement nehmen (Regel 2004), wäre eine Lagerung der Proben in humanem Speichel günstig. Hiervon musste jedoch abgesehen werden, da die Beschaffung und Lagerung der hierzu erforderlichen großen Mengen menschlichen Speichels nicht realisierbar schien.

Der pH-Wert des Lagerungsmediums nimmt zusätzlich Einfluss auf die Fluoridkinetik. Unter sauren pH-Bedingungen ist eine verstärkte Freisetzung von Fluorid aus Glasionomorzement-Füllungen zu beobachten (Forsten 1991 und 1995, Saul 2002). Der pH-Wert des verwendeten künstlichen Speichels lag bei 6,9, was dem mittleren pH-Wert des Ruhe-Speichels entspricht.

Die Proben wurden alle 24 Stunden in ein neues Gefäß mit frischem künstlichen Speichel gestellt. In der Mundhöhle hingegen wird der Speichel permanent geschluckt. Eine abgegebene Menge Fluorid kann sich daher nicht im Speichel anreichern. Es ist im Versuch hingegen davon auszugehen, dass die Fluoridkonzentration im Lagermedium über die 24 Stunden zunimmt. Da aber bei

allen Proben gleich häufig der künstliche Speichel gewechselt wurde, sind die gemessenen Ergebnisse dennoch vergleichbar.

Die Proben wurden alle 24 Stunden mit einem Pellikel aus humanem gepoolten Speichel beschickt, um die permanenten Ab- und Umbauvorgänge im Pellikel (Hannig 1994a, Damen et al. 1996) zu kompensieren. Jeden Morgen wurde der humane Speichel auf den Proben für eine Stunde ruhend belassen. Die Bildung eines Pellikels in der menschlichen Mundhöhle beginnt bereits nach wenigen Sekunden durch die Anheftung von Speichelproteinen an der Zahnoberfläche (Hannig 1994b). In vitro ist ein Pellikel nach 60 Minuten ultrastrukturell stabil.

Fluoridierung

Durch die morgend- und abendliche Fluoridierung sollten das regelmäßige Zähneputzen und die damit verbundene Fluoridzufuhr simuliert werden. Die Proben wurden je 3 Minuten in einer Natriumfluoridlösung geschwenkt. Diese hatte bei den Proben der permanenten Zähne eine Fluoridkonzentration von 200 ppm, was der durchschnittlichen Konzentration eines Speichel-Zahnpastagemisches während des Zähneputzens entspricht (Fischer 2001). Da Kinder bis zum Eintritt in das Schulalter Zahnpasten mit geringeren Fluoridkonzentrationen benutzen sollen, wurde für die Milchzahnproben eine 100-ppm-Natriumfluoridlösung benutzt.

Die Verwendung unterschiedlich hoch konzentrierter Fluoridlösungen ist bei der Interpretation der Ergebnisse zu berücksichtigen. Die unterschiedlichen Fluoridkonzentrationen wurden jedoch bewusst gewählt, um eine gute Simulation der klinischen oralen Situation im Milchgebiss bzw. im bleibenden Gebiss zu ermöglichen.

Ein Einwirken unterschiedlicher Zahnpasten-Bestandteile oder mechanisches Zahnbürsten, die unterschiedliche Menge des Tag- und Nachtspeichels sowie schwankende pH-Werte in der Mundhöhle konnten bei der Untersuchung nicht berücksichtigt werden.

Fluoridbestimmung

Die Messungen wurden mit einer fluoridsensitiven Elektrode (Thermo Orion 9609 BN) durchgeführt. Extrem hohe und extrem niedrige Messwerte unterliegen bauartbedingt einer relativen Ungenauigkeit. Eine Kalibrierung wurde nach jeder zweiten Messung und nach stark abweichenden Ergebnissen vorgenommen.

Die Versuchsdauer wurde auf 28 Tage angesetzt. Die Fluoridmessungen wurden in den Lagerungsmedien des 1., 2., 4., 8., 14., 21. und 28. Tages durchgeführt. Somit wurde die initial hohe Fluoridfreisetzung innerhalb der ersten 48 Stunden, die dann kontinuierlich, jedoch zunehmend langsamer, weiter abfällt (Smith 1998, Schiffner und von Bröckel 1999), erfasst.

5.2 Diskussion der Ergebnisse

Mit der Untersuchung wird bestätigt, dass bei Anwesenheit einer Glasionomierzement-Füllung die Fluoridkonzentration im umgebenden Speichel erhöht ist (Hatibovic-Kofmann 1990). Die Glasionomierzement-Proben gaben kurz nach dem Legen besonders viel Fluorid ab. Die Abgabe sank in den ersten drei Messtagen stark und fiel dann verlangsamt kontinuierlich weiter ab. Diese Kinetik entspricht der in zahlreichen anderen Studien ermittelten Fluoridfreisetzung (Creanor et al. 1994, Diaz-Arnold et al. 1995, Hatibovic-Kofman und Koch 1991, Forsten 1998, Smith 1998, Schiffner und von Bröckel 1999). In der vorliegenden Untersuchung ist jedoch prinzipiell davon auszugehen, dass das abgegebene Fluorid zum Teil auch in die Schmelzproben eingelagert wurde.

In den Gruppen ohne Refluoridierung des Glasionomierzements (Gruppen A und MA) entsprach die über die gesamte Versuchsdauer im Lagerungsmedium gefundene Fluoridmenge in Gegenwart von Milchzahn-Schmelz derjenigen in Gegenwart von bleibendem Schmelz. Dies mag einer primären Erwartung entsprechen, da in beiden Gruppen alleinige Fluoridquelle die gleich großen Glasionomierzementproben waren. Allerdings wären auch andere Ergebnisse zu erklären. So hätte eine höhere Konzentration im künstlichen Speichel über dem Schmelz bleibender Zähne dadurch erklärt werden können, dass der

Milchzahnschmelz einen geringeren Mineralisationsgrad als bleibender Schmelz aufweist (Wilson und Beynon 1989). Hieraus ließe sich eine höhere Fluoridaufnahme in Milchzahnschmelz, mithin eine geringere im Lagerungsmedium verbleibende Fluoridmenge ableiten. Auf der anderen Seite stammten die Milchzahnproben aus Zähnen, die bereits in der Mundhöhle gestanden hatten, die Abschnitte des bleibenden Schmelzes hingegen nicht. Dies hätte eine bereits oral erfolgte Mineralaufnahme bei den Milchzähnen, nicht hingegen bei den bleibenden Zähnen bewirkt haben können. Die in der Summe gleiche Fluoridfreisetzung neben beiden Schmelzarten deutet darauf hin, dass der Austausch mit dem Schmelz in beiden Gruppen in gleicher Größenordnung stattgefunden hat.

Hieraus kann die Schlussfolgerung abgeleitet werden, dass Ergebnisse über die Fluoridfreisetzung aus Glasionomerzement, solange keine Refluoridierung stattfindet, in gleicher Weise auf den Effekt auf den Zahnschmelz bleibender Zähne wie auch auf den Schmelz von Milchzähnen übertragen werden können.

Bei den Gruppen B und MB wurde die Glasionomerzement-Probe regelmäßig refluoridiert. Durch das zweimal täglich dreiminütige Eintauchen in eine Fluorid-Lösung wurde das Material wieder „aufgeladen“. Anschließend konnte wieder mehr Fluorid in den künstlichen Speichel abgegeben, aber auch in den Schmelz eingelagert werden.

Im Vergleich der beiden „Milchzahngruppen“ (MA und MB) ist die Fluoridabgabe in den künstlichen Speichel an einigen Tagen aus der refluoridierten Gruppe (MB), an anderen Tagen aus der nicht-refluoridierten Gruppe (MA) höher, in der Summe über die gesamte Versuchsdauer jedoch statistisch gleich. Es ist also kein Effekt der Refluoridierung des Zementes darstellbar. Dies steht im Gegensatz zu Studien, die mit höheren Fluoridkonzentrationen durchgeführt wurden, und bei denen eine Glasionomerzement-Probe nach Fluoridapplikation dieses aufnimmt und anschließend messbar wieder abgibt (Marinelli und Donly 1993, Creanor et al. 1994, De Witt et al. 2000). Offenbar wird durch die regelmäßige Behandlung einer Glasionomerzementprobe mit einer 100-ppm-NaF-Lösung keine nennenswert erhöhte Fluoridabgabe aus der Füllung erreicht. Dies kann an der geringen Menge

an zugeführtem Fluorid liegen, die jedoch die für Kinder reduzierte Fluoridkonzentrationen in Zahnpasten, welche in der Mundhöhle durch den Speichel weiter verdünnt wird, reflektieren soll.

Prinzipiell könnte der Milchzahnschmelz das aus dem Zement abgegebene Fluorid binden, welches somit nicht im künstlichen Speichel gemessen werden könnte. Diese theoretisch mögliche Situation erscheint jedoch unwahrscheinlich, da die erhöhte Fluoridfreisetzung nach Refluoridierung genau der Menge in den Milchzahnschmelz aufgenommenen Fluorids entsprechen müsste. Die bereits oben diskutierte, aus dem Vergleich der nicht-refluoridierten Gruppen mit Milchzahn- bzw. bleibendem Schmelz abgeleitete Folgerung, dass der Schmelz wenig Einfluss auf den Fluoridgehalt im künstlichen Speichel habe, spricht zudem gegen diese Annahme. Darüber hinaus hatten die für die Studie verwendeten Milchzähne alle schon in der Mundhöhle gestanden und hatten somit die Phase der sekundären Schmelzreifung bereits durchlaufen.

Für die Fluoridkinetik aus den Zementproben, die neben bleibendem Zahnschmelz angebracht waren, stellt sich im Vergleich der refluoridierten (Gruppe B) zu den nicht-refluoridierten Proben (Gruppe A) eine andere Situation dar. Die Fluoridkonzentration im künstlichen Speichel war über dem behandelten Zement stetig höher als über dem unbehandeltem Zement. Über die Versuchsdauer konnte ein hochsignifikanter Unterschied der freigesetzten Fluoridmenge ermittelt werden.

Die erhöht freigesetzte Fluoridmenge entstammt der Wiederaufladung des Glasionomorzementes. Dies steht in Übereinstimmung mit Literaturangaben. Diese zeigen, dass bei Applikation höher konzentrierter Fluoridlösungen die folgende Fluoridabgabe aus dem Material höher als die initiale Freisetzung nach dem Legen der Füllung sein kann (Creanor et al. 1994, De Witt et al. 2000). Danach sinkt die Abgabe, bis eine erneute Fluoridbehandlung stattfindet (Forsten 1991, Hatibovic-Kofmann 1996, De Witte 2000).

In der vorliegenden Studie wurde die Fluoridierung mit einer 200-ppm-Fluoridlösung durchgeführt. Dies entspricht der Fluoridkonzentration im Speichel-Zahnpasten-

Gemisch während des Zähneputzens (Fischer 2001). Mit dieser Konzentration konnte zwar die der Applikation folgende Fluoridfreisetzung nicht über die initiale Fluoridabgabe hinaus gesteigert werden, doch war die im künstlichen Speichel bestimmte Fluoridmenge signifikant erhöht. Die Fluoridfreisetzung aus dem Füllungsmaterial übertrifft in diesem Versuch somit auch die Aufnahme in den Schmelz permanenter Zähne, obgleich dieser noch nicht in der Mundhöhle gestanden hatte. Dieser Schmelz war somit noch nicht sekundär gereift und besaß das Potenzial zur erhöhten Fluoridaufnahme.

In der Literatur wird bislang beschrieben, dass eine 250-ppm-Fluoridlösung in der Lage ist, das Fluoridabgabeverhalten einer Glasionomerezement-Füllung positiv zu beeinflussen (Creanor et al. 1995). Mit dem durchgeführten Versuch wurde jetzt gezeigt, dass auch eine zwei Mal täglich angewendete 200-ppm-Lösung in der Lage ist, die Fluoridkinetik der Glasionomerezement-Probe so zu beeinflussen, dass eine signifikant erhöhte Abgabe festzustellen ist. Eine zwei Mal täglich angewendete 100-ppm-Lösung hingegen ist hierzu nicht in der Lage.

Auch im Vergleich der aus dem Glasionomerezement nach Refluoridierung freigesetzten und im künstlichen Speichel bestimmbar Fluoridmengen der Gruppen B (mit permanentem Schmelz) und MB (mit Milchzahnschmelz) wurde eine hochsignifikant größere Fluoridmenge in Gruppe B ermittelt. Hierbei ist zu beachten, dass die Menge des primär aus der Glasionomerezement-Füllung stammenden Fluorids gleich ist (siehe Gruppen A und MA), dass sich aber die Konzentrationen der zur Refluoridierung benutzten Fluoridlösungen unterscheiden haben. Die bei den permanenten Zähnen verwendete Lösung hatte mit 200 ppm eine doppelt so hohe Konzentration wie die bei den Milchzähnen angewendete Lösung (100 ppm). Dies soll die orale Situation des Zähneputzens während der funktionellen Milchgebissphase bzw. der Wechselgebissphase widerspiegeln. Offensichtlich sind Unterschiede im Reifegrad des verwendeten Schmelzes nicht geeignet, den Einfluss der Konzentration eines zur Refluoridierung verwendeten Fluoridpräparates auf die Fluoridabgabe aus Glasionomerezement zu überdecken.

Insgesamt erlauben die hier diskutierten Ergebnisse die Schlussfolgerung, dass für die Fluoridmenge, die in (künstlichem) Speichel nachweisbar ist, welcher refluoridierten Glasionomierzement und auch Zahnschmelz umfließt, in erster Linie das Alter der Glasionomierzementprobe sowie die Konzentration der zur Refluoridierung angewendeten Fluoriddarreichung ausschlaggebend sind. Die Art des in der Nähe befindlichen Zahnschmelzes ist von geringer Bedeutung. Da in der klinischen Anwendung für Kinder unter 6 Jahren geringere Fluoridkonzentrationen zum Zähneputzen empfohlen werden als für ältere Kinder (Gülzow et al. 2002), bedeutet dies jedoch auch, dass Ergebnisse von Laborstudien über die Fluoridkinetik von Glasionomierzement nicht von einer permanente Zähne simulierenden Situation (mit höheren Fluoridkonzentrationen) auf eine Milchzähne widerspiegelnde Situation übertragen werden dürfen.

Aus klinischer Sicht können die vorgelegten Ergebnisse so interpretiert werden, dass aus der Refluoridierung von Glasionomierzement mit einer 100-ppm-Fluoridquelle, welches der oralen Verdünnung nach Anwendung einer Kinderzahnpaste entspricht, kein Effekt im Sinne einer „Wiederaufladung“ mit nachfolgend erhöhter Fluoridfreisetzung aus dem Zement resultiert. Die Applikation von Fluorid in einer Konzentration von 200 ppm hingegen lässt einen derartigen Effekt erkennen.

.

Abschließend sind die eingangs aufgestellten Arbeitshypothesen folgendermaßen zu beantworten:

1. Die Hypothese „Durch Applikation von Fluorid in niedriger, der klinischen Anwendung von Kinderzahnpasten entsprechender Konzentrationen wird die Abgabe von Fluorid aus Glasionomierzement nicht signifikant erhöht“ trifft zu.
2. Die Hypothese „In Gegenwart von Milchzahnschmelz ist die Menge aus Glasionomierzement freigesetzten verfügbaren Fluorids reduziert“ trifft nicht zu.

6 Zusammenfassung

Mit der vorliegenden In-vitro-Studie sollte die Auswirkung der Applikation gering konzentrierter Fluoridlösungen auf die Fluoridfreisetzung aus Glasionomermzement untersucht werden. Die hierfür angewendeten Fluoridkonzentrationen sollten die klinische Situation, die durch eine Verdünnung der mittels Zahnpasten zugeführten Fluoride durch den Speichel gekennzeichnet ist, sowie die Verwendung verschieden hoch konzentrierter Zahnpasten bei Kindern bzw. Erwachsenen berücksichtigen.

Zur Simulation der oralen Situation wurde neben den Parametern „Pellikel“, „Speichelionen“, „Mundhöhlentemperatur“ und „Fluoridverdünnung beim Zähneputzen“ auch Milchzahnschmelz bzw. bleibender Schmelz in die In-vitro-Anordnung eingefügt. Dadurch sollte zugleich eine Abschätzung ermöglicht werden, ob und in wie weit der vergleichsweise geringere Mineralisationsgrad von Milchzahnschmelz zu einer höheren Aufnahme des freigesetzten Fluorids in den Schmelz führt.

Standardisierte Glasionomermzement-Proben (Ketac-Fil) wurden hergestellt und in künstlichem Speichel gelagert. In enger Nachbarschaft zu den Zementproben wurden Schmelzabschnitte in die Lösung eingebracht. 20 Milchzahn-Schmelzproben entstammten exfoliierten Zähnen, 24 Abschnitte permanenten Schmelzes waren aus operativ entfernten, retinierten dritten Molaren gewonnen worden. Über einen Zeitraum von 28 Tagen wurde die Fluoridfreisetzung aus dem Glasionomermzement in den künstlichen Speichel mittels fluoridsensitiver Elektrode (Thermo Orion, Modell 94-09) bestimmt. Die zu bestimmten Tagen nach Legen der Materialproben gemessenen Fluoridmengen wurden addiert und auf die Oberfläche der Zementproben bezogen in $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ angegeben.

Die Hälfte der Glasionomermzementproben wurde zweimal täglich für jeweils 3 Minuten mit einer natriumfluoridhaltigen Lösung refluoridiert. Die

Versuchsanordnung erlaubte eine selektive Fluoridierung nur des Glasionomerzementes ohne gleichzeitige Fluoridierung der Schmelzproben.

Durch die Fluoridierung der Hälfte der Zementproben und durch das Einfügen von Milchzahn- oder bleibendem Schmelz in die Versuchsanordnung waren vier Untersuchungsgruppen vorhanden:

- Bleibender Schmelz neben nicht refluoridiertem Glasionomerzement
- Milchzahnschmelz neben nicht refluoridiertem Glasionomerzement
- Bleibender Schmelz neben refluoridiertem Glasionomerzement
- Milchzahnschmelz neben refluoridiertem Glasionomerzement

Die Fluoridkonzentration zur Fluoridierung der neben bleibendem Schmelz gelagerten Glasionomerzementproben betrug 200ppm, was dem durchschnittlichen Fluoridgehalt im Zahnpasta-Speichel-Gemisch eines Erwachsenen entspricht. Bei den Milchzähnen wurde die Konzentration der Spüllösung halbiert (100ppm).

Die Untersuchung bestätigte den raschen Rückgang der aus Glasionomerzementen freigesetzten Fluoridmenge. Bei Anwendung der 200-ppm-Fluoridspüllösung wurde darüber hinaus auch eine signifikante Erhöhung der Fluoridfreisetzung aus dem refluoridierten Glasionomerzement (von $37,9 \pm 10,2 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ auf $55,9 \pm 8,6 \mu\text{g}/\text{cm}^2$) bestätigt. Im Gegensatz hierzu führte die Refluoridierung mit der 100-ppm-Lösung zu keiner erhöhten Fluoridabgabe (Freisetzung neben Milchzahnschmelz $37,2 \pm 2,3 \mu\text{g}/\text{cm}^2$, nach Refluoridierung $35,5 \pm 4,1 \mu\text{g}/\text{cm}^2$). Dies führt zu der Schlussfolgerung, dass bei Anwendung einer Kinderzahnpaste kein klinisch bedeutsamer Effekt einer Glasionomerzement-„Wiederaufladung“ wirksam werden dürfte.

Die aus dem Glasionomerzement neben Milchzahnschmelz bestimmte Menge im künstlichen Speichel verfügbaren Fluorids entsprach, sofern keine Fluoridierung durchgeführt wurde, der Menge neben bleibendem Schmelz bestimmten Fluorids. Mithin scheint die Art des neben Glasionomerzement befindlichen Zahnschmelzes für die Fluoridkinetik von untergeordneter Bedeutung zu sein.

Infolge der das Untersuchungsergebnis bestimmenden Auswirkung der zum Refluoridieren verwendeten Fluoridkonzentration dürfen Resultate von Laborstudien über die Fluoridkinetik von Glasionomierzement dennoch nicht von einer permanente Zähne simulierenden Situation (mit höheren Fluoridkonzentrationen) auf eine Milchzähne widerspiegelnde Situation übertragen werden, da für die tägliche Anwendung für Kinder unter 6 Jahren geringere Fluoridkonzentrationen zum Zähneputzen empfohlen werden als für ältere Kinder.

7 Literaturverzeichnis

Attin, T., Buchalla, W., Siewert, C., Hellwig, E.

Fluoride release/uptake of polyacid-modified resin composites (compomers) in neutral and acidic 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

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

Borutta, A., Brocker, M.

Der orale Gesundheitszustand in Relation zu personalen Faktoren und dem Gesundheitsverhalten

Dtsch Zahnärztl Z 51, 666-670 , 1996

Bowen, W.H.

Dental Caries. Is it an extinct disease?

J Am Dent Assoc 122, 49-54, 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

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 Schepper, E.J., Berr, E.A., Cailleteau, J.G., Tate, W.H.

A comparative study of fluoride release from glass-ionomer cements

Quintessence Int 22, 215-219, 1991

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

Donly, K.J., Segura, A.

Fluoride release and caries inhibition associated with a resin-modified glass-ionomer cement at varying fluoride loading doses

Am J Dent 15, 8-10, 2002

Ekstrand, J., Ehrnebo, M.

Absorption of fluoride from fluoride dentifrices

Caries Res 14, 96- 102, 1980

Effenberger, S., Schiffner, U.

Kariesrückgang bei Hamburger Kindern und Jugendlichen aus niedrigen Sozialschichten

Dtsch Zahnärztl Z, 59, 94-97, 2004

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

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

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.

Fluorid release and uptake by glass-ionomer cements

Scand J Dent Res 99, 241-245, 1991

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

Gao, W., Smales, R.J., Gale, M.S.

Fluoride release/uptake from newer glass-ionomer cements used with the ART approach

Am J Dent 13, 201-204, 2000

Geurtsen, W., Leyhausen, G., Garcia-Godoy, F

Effects of storage media on the fluoride release and surface microhardness of four polyacid-modified composite resins ("compomers").

Dent Mater 15, 196-201, 1999

Glockmann, E, Gerholdt C, Triemer K

Freisetzung von Fluorid aus unterschiedlichen Glasionomerzementen

Dtsch Zahnärztl Z.52, 668-672, 1997

Grundmann, I.

Der Einfluss von Pellikel und Speichelionen auf die Fluoridfreisetzung und –wiederaufnahme von Glasionomerzement, sowie ihr Einfluss auf die Fluoridanreicherung im Zahnschmelz

Med Diss, Hamburg 2004

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 1977-1998

Dtsch Zahnärztl Z 55, 770-773, 2000

Gülzow H.J., Hellwig, E., Hetzer, G.

Empfehlungen zur Kariesprophylaxe mit Fluoriden- Stellungnahme der DGZMK

URL :<http://www.dgzmk.de>, Zugriff am 12.12.2007

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, 1994

Hannig, M.

Bildung, Funktion und Bedeutung der Pellikel

II. Auswirkung zahnärztlicher Maßnahmen und dentaler Materialien auf die Pellikelbildung

Oralprophylaxe 16, 102-105, 1994

Hannig, M.

Ultrastructural investigation of pellicle morphogenesis at two different intraoral sites during a 24-h period

Clin Oral Invest 3, 88-95, 1999

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-Kofmann, S., Koch, G.J., Ekstrand, J.

Glass ionomer as an rechargeable fluoride system

J Dent Res 73, 134, 1994

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

Hatibovic-Kofman S., Koch, G.

Fluoride release from glass ionomer cement in vivo and in vitro

Swed Dent J 15, 53-258, 1991

Haubner, R.

Der Fluoridgehalt im Zahnschmelz kariöser und nicht-kariöser Zähne

Med Diss, Erlangen-Nürnberg, 1990

Hefti, A.

Fluoridmetabolismus

Schweiz Monatsschr Zahnmed 96, 305-316, 1986

Hellwig, E.

Fluoride: Chemie und Biochemie

Dtsch Zahnärztl Z 51, 638-648, 1996

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

Einführung in die Zahnerhaltung

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

Hickel, R., Stöber, L., Heinrich-Welzien, R., Kühnisch, J., Bürkle, V.
Leitlinie Fissurenversiegelung Stellungnahme DGZMK
URL [http: www.dgzmk.de](http://www.dgzmk.de) , Zugriff 12.12.2007

Jones, D.W., Jackson, G., Sutow, E.J., Hall, C.G.
Fluoride release from glass ionomer materials at 37°C and 21°C
J Dent Res 66, 113, 1987

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

Klimek, J., Ganss, C., Schwan, P., Schmid, R.
Fluoride uptake in plaque-covered and clean enamel after application of amine
fluoride and sodium fluoride toothpaste in situ
Caries Res 32, 273, abs. no. 17, 1998

Knop, B., Leisentritt, V., Schiffner U.
Zur Fluoridabgabe von Kompositen nach wiederholter Applikation eines
Fluoridgelees
Oralprophylaxe 25, 116-119, 2003

Krämer, N.
Moderne Füllungstherapie im Milch- und Wechselgebiss
Dtsch Zahnärztl Z 52, 89-99, 1997

Koch, H.G., Hatibovic-Kofmann, S.
Glass ionomer cements as a fluoride release system in vivo
Swed Dent J 14, 267-273, 1990

König, K.G.
Karies und Parodontopathien, Ätiologie und Prophylaxe
Georg Thieme, Stuttgart, 1993

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

Solubility, unit cell dimensions and cristallinity of fluoridated human dental enamel
Arch Oral Biol 34, 969-973, 1989

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

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

J Dent Res 72, 317 (abs. no. 1707), 1993

Marquis, R.E.

Diminished acid tolerance of plaque bacteria caused by fluoride

J Dent Res 69, 672-675, 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.

Glassionomer cement restorations and secondary caries: a preliminary report

Quintessence Int 27, 171-174, 1996

Mjör, I.A.

The reasons for replacement and the age of failed restorations in general dental practice

Acta Odontol Scand 55, 58-63, 1997

Mjör, I.A., Qvist, V.

Marginal failures of amalgam and composite restorations

J Dent 25, 25-30, 1997

Olsson, J., Bratthall, D., Carlén A.

Association between bacterial agglutins and immunoglobulin A in human saliva
Acta Odontol Scand 39, 61-66, 1981

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

Pieper, K.
Epidemiologische Begleituntersuchung zur Gruppenprophylaxe 2004
Deutsche Arbeitsgemeinschaft für Jugendzahnpflege (DAJ), Bonn 2005

Preston, A.J., Mair, L.H., Agalamanyi, E.A., Higham, S.M.
Fluorid release from aesthetic materials
J Oral Rehabil 26, 123-129, 1999a

Preston, A.J., Higham, S.M., Agalamanyi, E.A., Mair, L.H.
Fluorid recharge of aesthetic materials
J Oral Rehabil 26, 936-940, 1999b

Regel, I.
Der Einfluss von Pellikel und Speichelionen auf die Fluoridfreisetzung und –
wiederaufnahme von Glasionomermaterial, sowie ihr Einfluss auf die
Fluoridanreicherung im Zahnschmelz
Med Diss, Hamburg 2004

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

Rølla, 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 Glasionomercement und einem Kompomer im sauren Millieu und die hieraus resultierende Fluoridaufnahme in den Zahnschmelz

Med Diss, Hamburg 2002

Schaitle, R., Siebert, G:

Zahngesundheit und Ernährung

Hanser, München 1987

Schiffner, U.

Grundlagen der Fluoridanwendung

Oralprophylaxe 23, 23-26, 2001

Schiffner, U.

Krankheits- und Versorgungsprävalenzen bei Kindern (12 Jahre): Zahnkaries. In:

Micheelis, W., Schiffner, U. (Gesamtbearbeitung): Vierte Deutsche

Mundgesundheits-Studie (DMS IV). Dtsch Ärzte-Verlag, Köln 2006, S. 155-184

Schiffner, U., Grundmann, I.

Influence of salivary ions and pellicle on release and uptake of fluoride by glass ionomer cement

Caries Res 34, 339, abs. no 90, 2000

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

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

Biomaterialien 5 (S1), 86-87, 2004

Schiffner, U., von Bröckel, U.

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

Dtsch Zahnärztl Z, 54, 568-571, 1999

Seppä, L.

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

Caries Res 28, 406-408, 1994

Smith, D.C.

Development of glass-ionomer cement systems

Biomaterials 19, 467-478, 1998

Staehele, H.J., Bößmann, K.

Experimentelle Untersuchung über die antikariogene Wirkung von
Glasionomerzement

Dtsch Zahnärztl Z 39, 532-534, 1984

Stöber, L., Künzel, W., Schulz E.

Die plaqueinhibierende Aktivität einer Aminfluorid/Zinnfluorid-Kombination

Dtsch Zahnärztl Z 47, 455-456, 1992

Strubelt, O.

Fluoride aus zahnmedizinischer und toxikologischer Sicht.

Zahnärztl Prax 40, 358, 1989

Swift, E.J.

Effect of mixing time on fluoride release from a glass ionomer cement

Am J Dent 1, 132-134, 1988

Takahashi, k., Emilson, C.G., Birkhed, D.

Fluoride release in vitro from various glass ionomer cements and resin composites after exposure to NaF solutions

Dent Mater 9, 350-354, 1993

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

Torell, P., Ericsson, Y.

Two-year clinical tests with different methods of local caries-preventive fluorine application in Swedish school-children

Acta Odontol Scand 23, 287-322, 1965

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

Cariostatic effect of glass ionomer retained orthodontic appliance

Swed Dent J 21, 69-175, 1997

Wahab, F.K., Shellis, R.P., Elderton, R.J.

Effects of low fluoride concentrations on formation of caries-like lesions in human enamel in a sequential-transfer bacterial system

Arch Oral Biol 38, 985-995, 1993

Wilson, A.D., Kent, B.E.

A new translucent cement for dentistry: the glass ionomer cement

Br Dent J 132, 133-135, 1972

Wilson, P.R., Beynon, A.D.

Mineralization differences between human deciduous and permanent enamel measured by quantitative microradiography.

Arch Oral Biol 34, 85-88, 1989

8 Lebenslauf

Geburtstag 04.09.1977
Geburtsort Hamburg
Eltern Dr. med Horst Kleinen
Ingrid Kleinen (geb. Bitzmann)

Ausbildung

Schulen 1984 – 1988 Grundschule Horst
1988 – 1990 Orientierungsstufe Maschen
1990 – 1997 Gymnasium Meckelfeld
Abschluss 1997 Abitur
Studium 1997 – 2004 Studium der Zahnheilkunde in Hamburg
Abschluss 2004 Approbation
Fortbildung 2007 Curriculum Implantologie (DGI)
Tätigkeit 2005 – 2007 Ausbildungsassistent
2007 Niederlassung und Selbstständigkeit

9 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 auch Frau Dr. Susanne Effenberger, die mit konstruktiver Kritik und Motivation diese Arbeit vorangetrieben hat.

Für die Hilfe und den Informationsaustausch danke ich insbesondere Inke Kohrmeyer und Julia Jensen.

10 Erklärung

Ich versichere ausdrücklich, dass ich die Arbeit selbständig 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 bisher nicht einem Fachvertreter an einer anderen Hochschule zur Überprüfung vorgelegt oder mich anderweitig um Zulassung zur Promotion beworben habe.