

Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
des Universitätsklinikum Hamburg-Eppendorf
Poliklinik für Zahnerhaltung und Präventive Zahnheilkunde
Bereich Präventive Zahnheilkunde
Leiter: Prof. Dr. U. Schiffner

**Der Einfluss von Pellikel und Speichelionen auf die
Fluoridfreisetzung und -wiederaufnahme von
Glasionomierzement, sowie ihr Einfluss auf die
Fluoridanreicherung im Zahnschmelz**

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

Ilka Regel
aus Rostock

Hamburg 2003

Gutachter der Dissertation:

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

Prüfungsausschuss, 2. Gutachter: Prof. Dr. H.-J. Gülzow

Prüfungsausschuss, 3. Gutachter: Prof. Dr. D. Ameis

Datum der mündlichen Prüfung: 18. Juni 2004

INHALT

	Seite
1 Einleitung	1
2 Literaturübersicht	5
2.1. Fluorid	5
2.2. Glasionomerzement	7
2.3. Fluoridfreisetzung und karieshemmende Wirkung von Glasionomerzementen	9
2.4. Einfluss des umgebenden Mediums auf die Fluoridfreisetzung	12
2.5. Speichel	15
3 Material und Methodik	17
3.1. Fluoridbestimmung im Lagerungsmedium	17
3.1.1. Material	17
3.1.1.1. Materialproben	17
3.1.1.2. Lagerungsmedien	18
3.1.1.3. Lösungen	20
3.1.2. Methodik	21
3.1.2.1. Lagerung und Fluoridierung der Proben	21
3.1.2.2. Bestimmung der Fluoridfreisetzung der Materialproben	22
3.2. Fluoridbestimmung im Schmelz	26
3.2.1. Material (Schmelzplättchen)	26
3.2.2. Methodik: Bestimmung des Fluoridgehaltes der Schmelzplättchen	27
3.3. Statistik	32
4 Ergebnisse	36
5 Diskussion	53
5.1. Diskussion der Methode	54
5.2. Diskussion der Ergebnisse	57
6 Zusammenfassung	64
7 Literaturverzeichnis	66
Anhang	74
Danksagung	82
Lebenslauf	83

1. Einleitung

Die Bedeutung von Fluorid für die Kariesprophylaxe ist unbestritten. So wird in der weit verbreiteten Anwendung von Fluoridverbindungen in Zahnpasten ein Hauptgrund für den in vielen Industrieländern beobachteten Kariesrückgang gesehen (*König* 1993). Fluoridierungsmaßnahmen gelten für breite Bevölkerungskreise als wichtigste Säule der Kariesprophylaxe (*Gülzow* 1995). Die Karieshemmung wird dabei durch mehrere Einzeleffekte der Fluoridanwendung erzielt. Besondere Bedeutung haben dabei die Förderung der Remineralisation initialkariöser Läsionen, wobei es zu besonders hoher Fluoridaufnahme in demineralisierten Schmelz kommt, sowie die Deckschichtbildung (*Schiffner* 2001). Diese Kalziumfluorid-Deckschicht kann über längere Zeiträume als Fluoridspeicher dienen, aus welchem unter kariogenen Bedingungen wiederum Fluorid freigesetzt werden kann.

Angesichts dieser Bedeutung von Fluorid ist auch die Inkorporation von Fluorid in zahnärztliche Füllungsmaterialien von Interesse. Hiervon wird die Reduktion von Sekundärkaries neben den Füllungen erwartet. Glasionomerzemente stellen die Materialklasse mit dem höchsten Fluoridgehalt dar, woraus eine vergleichsweise hohe Fluoridfreisetzung möglich ist. Glasionomerzemente wurden 1972 durch *Wilson* und *Kent* in die Zahnheilkunde eingeführt. Seit ihrer Einführung wurden zahlreiche Laborstudien und klinische Untersuchungen zu Glasionomerzementen vorgelegt. Glasionomerzemente bestehen aus einem Pulver basischer, fluoridhaltiger Gläser, welches nach Zugabe einer Säure in einer Säure-Base-Reaktion im wässrigen Milieu abbindet. Trotz des Säureanteils zeichnen sich Glasionomerzemente durch eine vergleichsweise hohe Biokompatibilität aus, da die Säuren aufgrund ihrer langkettigen Form kaum in die Dentintubuli diffundieren können. Ein weiterer Vorteil der Glasionomerzemente liegt in der chemischen Anbindung an Zahnhartsubstanzen. Dadurch entsteht eine dichte Verbindung sowohl zu Schmelz als auch zu Dentin.

Mechanisch sind Glasionomerzementfüllungen allerdings nicht durch direkten Kaudruck belastbar. Zudem ist ihre materialgerechte Verarbeitung aufwendig. Daher kann dieses Material nicht als definitives Füllungsmaterial an kaulasttragenden Lokalisationen im bleibenden Zahn verwendet werden. Das opake Aussehen der Füllungen schränkt die Anwendung weiter ein.

Von großem Interesse, insbesondere auch in der Kinderzahnheilkunde, ist jedoch immer noch die Fluoridfreisetzung des Glasionomerzementes. Die Freisetzung konnte sowohl in vitro (Swartz *et al.* 1984, Forsten 1990) als auch in vivo (Koch und Hatibovic-Kofman 1990, Hatibovic-Kofman und Koch 1991) nachgewiesen werden. Die maximale Fluoridfreisetzung erfolgt in den ersten Tagen nach dem Legen der Füllung, insbesondere innerhalb der ersten 24 Stunden. Sie fällt rasch zurück, erreicht jedoch nach einigen Wochen ein relativ stabiles Niveau fortgesetzter Fluoridabgabe. Dieses Verhalten wurde sowohl in vitro als auch in vivo nachgewiesen (de Schepper *et al.* 1991, Creanor *et al.* 1994).

In-vitro-Studien haben gezeigt, dass Glasionomerzemente Fluorid aus umgebenden Medien auch wieder aufnehmen können. Zahnpasta und Mundspüllösungen stellen die wichtigsten Quellen zur Fluoridwiederaufnahme dar (Creanor *et al.* 1994). Nach Zufuhr von Fluorid ist die nachfolgende Fluoridfreisetzung wieder erhöht. Somit können Glasionomerzemente als aufladbare, langsam fluoridfreisetzende Depots interpretiert werden (Hatibovic *et al.* 1994). Bynum und Donly (1999) formulieren, dass durch Verwendung einer fluoridhaltigen Zahncreme die antikariogene Wirkung der Glasionomerzemente infolge der Wiederaufladung des Materials verstärkt werde.

Allerdings wird die Fluoridfreisetzung aus Glasionomerzement durch verschiedene Faktoren, wie den primären Fluoridanteil, aber auch die Löslichkeit und Porosität des Materials beeinflusst. Weitere Einflussfaktoren sind die Anmischung des Zementes als Kapselmaterial oder per Hand, sowie die Verwendung eines Lackes als Füllungsabschluss. Ebenso wird die Fluoridfreisetzung durch den pH-Wert und die Osmolarität des umgebenden Mediums bestimmt. Die Fluoridfreisetzung steigt unter sauren Bedingungen und bei höheren Temperaturen (Swift 1988, Jones *et al.* 1987, Forsten 1990).

In einer Vielzahl von Studien über den Einfluss von Glasionomerfüllungen konnte eine Reduzierung von Sekundärkaries gefunden werden. So konnten bei In-vitro-Untersuchungen in der Umgebung von Glasionomerfüllungen keine kariösen Läsionen beobachtet werden (ten Cate und van Duinen 1995, Forsten 1990). Vielmehr wurde gezeigt, dass eine geringe, konstante Fluoriddosis, freigesetzt aus einer Glasionomerzementfüllung, einen Remineralisierungseffekt auf umliegende

Demineralisationen besitzt (*Segura et al.* 1997, *Wefel* 1990, *Forss und Seppä* 1990). In vitro wurde sogar in zuvor künstlich demineralisierten Zahnflächen, welche in der Nähe von Glasionomerzementproben angebracht waren, eine Reduzierung des Porenvolumens der künstlichen kariösen Läsionen nachgewiesen (*Segura et al.* 1997). Auch in verschiedenen In-vivo-Langzeitstudien wurde nur wenig Sekundärkaries neben Glasionomerfüllungen beobachtet (*Benelli et al.* 1993, *Koch und Hatibovic-Kofman* 1990, *Hatibovic-Kofman und Koch* 1991).

Voraussetzung für die Ionenfreisetzung ist die, wenn auch geringe, Wasserlöslichkeit von Glasionomerzementen. Die Diffusion des Wassers in das oberflächliche Material bestimmt die Ionenfreisetzung. Die Freisetzung von Fluorid wird in der überwiegenden Anzahl von In-vitro-Studien in Wasser als umgebendem Medium ermittelt (*Creanor et al.* 1994, *Forsten* 1991). Somit fehlen Einflüsse auf die Fluoridfreisetzung, wie sie beispielsweise durch Ionen oder Proteine des menschlichen Speichels hervorgerufen werden können. In Studien, welche künstlichen oder menschlichen Speichel als Umgebungsmedium von Glasionomerzementen verwenden, wird eine durchweg geringere Fluoridfreisetzung gefunden (*Carvalho und Cury* 1999, *Damen et al.* 1996, *El Mallakh und Sarkar* 1990). Dies kann zum einen durch die größere Viskosität des Speichels erklärt werden, welcher die Diffusion von Wasser in das Material hemmt und somit auch zu einer geringeren Freisetzung von Fluoridionen führt. Zum anderen können Ionen des Speichels eine Verbindung mit Fluoriden eingehen, wodurch diese einer Bestimmung mittels ionensensitiver Verfahren nicht mehr zugänglich sind. Es ist davon auszugehen, dass dies beim ersten Kontakt der im Material freigesetzten Fluoridionen mit entsprechenden Speichelbestandteilen geschieht.

Das Pellikel stellt einen Niederschlag von Speichelproteinen und –glykoproteinen auf der Zahnoberfläche dar. Das Pellikel wirkt als eine Diffusionsbarriere (*Nikiforuk* 1985, *Hannig und Balz* 1999). Es wurde gezeigt, dass durch die Inkubation mit Speichel die Diffusion des Fluorids aus Glasionomerzementen herabgesetzt wird, eine Inkubationszeit von 10 Minuten ist hierfür bereits ausreichend (*Bell et al.* 1999). Die Bestimmung der Fluoridfreisetzung in deionisiertem Wasser ermöglicht daher nur begrenzte Aussagen über die Freisetzung im Mundmilieu (*El Mallakh und Sarkar* 1990).

Genauere Kenntnisse darüber, welche Speichelbestandteile die Fluoridfreisetzung reduzieren, liegen bislang nicht vor. Mit der vorliegenden Arbeit soll überprüft werden, welcher Teil des Speichels für die im Gegensatz zur Messung in Wasser deutlich reduzierte Fluoridfreisetzung verantwortlich ist. Hierbei soll zwischen den als Pellikel der Füllungsoberfläche aufgelagerten Strukturen, welche in erster Linie Proteine und Glykoproteine sind, und den im Speichel gelösten mineralischen Bestandteilen differenziert werden.

Nicht nur die Freisetzung von Fluorid aus Glasionomerzement, sondern auch seine „Wiederaufladung“ mit einer täglich angewandten NaF-Lösung werden durch das umgebende Medium beeinflusst. Daher soll mit dieser Studie auch untersucht werden, ob die Wiederaufladung des Glasionomerzementes mit Fluorid durch das Pellikel oder durch gelöste Speichelionen beeinflusst wird.

Das Ziel der vorgelegten Arbeit besteht somit darin, in einer In-vitro-Anordnung den Einfluss von Pellikel und Speichelionen auf die Fluoridfreisetzung aus einem Glasionomerzement sowie auf die Fluoridwiederaufnahme in das Material zu untersuchen. Zugleich soll mit der Studie ein weiterer Aspekt der Fluoridfreisetzung aus Glasionomerzementen untersucht werden. Das freigesetzte Fluorid kann von benachbarter Zahnschmelz aufgenommen werden. Keine Kenntnis besteht bislang darüber, in wie weit die Fluoridaufnahme in den Zahnschmelz von den erwähnten Speichelfractionen beeinflusst wird. Mit der vorliegenden Studie soll daher auch überprüft werden, welchen Einfluss Pellikel und Speichelionen auf die Aufnahme von Fluorid in Zahnschmelz haben.

2. Literaturübersicht

2.1. Fluorid

Fluor gehört zusammen mit Chlor, Brom, Jod und Astat zur Hauptgruppe der Halogene. Fluor kommt ubiquär, jedoch wegen seiner hohen Reaktivität niemals ungebunden vor, sondern hauptsächlich in Verbindung mit Mineralien, wie beispielsweise als Flussspat (CaF_2), Eisstein (Na_3AlF_6) und Fluorapatit $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}(\text{OH})$.

Fluor steht an 17. Stelle in der Häufigkeit aller Elemente und macht damit 0,03% der Erdkruste aus. Besonders hohe Konzentrationen befinden sich in vulkanischen Gebieten. Meere enthalten Fluoridkonzentrationen zwischen 1,0 – 2,7 ppm (Gülzow 1995).

Fluorid gehört zu den lebensnotwendigen Nebengruppenelementen, welche in Form von geeigneten Verbindungen essentiell mit der Nahrung bzw. dem Trinkwasser aufgenommen werden. Es spielt eine wichtige Rolle bei der Mineralisation des Organismus; hier insbesondere bei der Bildung von Hydroxylapatit und dem Knochenbau. Durch diese Affinität fällt dem Fluorid auch eine große Bedeutung für die Zahnbildung zu. Darüber hinaus ist der Fluoridgehalt des Zahnschmelzes von Bedeutung für dessen Säurelöslichkeit.

An der Zahnoberfläche besteht ein dynamisches Gleichgewicht zwischen Lösung und Wiedereinlagerung von Mineral. Nach dem Lösen kommt es sofort zum Wiederauffüllen der subklinischen Defekte mit Kalzium- und Phosphationen aus dem Speichel. Dieser Ablauf wird gestört, wenn das dynamische Gleichgewicht durch ein Absinken des umgebenden pH-Wertes in Richtung Demineralisation verschoben wird. Bei länger dauernden oder wiederholten Perioden niedrigen umgebenden pH-Wertes entsteht schließlich die kariöse Läsion. Die hierfür erforderlichen Veränderungen des pH-Wertes entstehen durch den Kohlenhydratabbau in Bakterien, welche der Zahnoberfläche als Plaque aufgelagert sind. In diesen Prozess kann Fluorid an verschiedenen Stellen eingreifen. Ein wichtiger Mechanismus ist die Beeinflussung des dynamischen Gleichgewichtes zugunsten der Remineralisation. Fluorid fördert jedoch nicht nur die Remineralisation des Schmelzes, sondern es wird auch selbst mit in das Kristallgitter eingebaut. Die entstehenden Hydroxylapatit/Fluorapatit-Mischkristalle weisen eine höhere Säureresistenz auf (Gülzow 1995). Sie setzen die Löslichkeit des Schmelzes herab. Bei gesundem Schmelz ist dieser Effekt jedoch von

geringer Bedeutung, bei demineralisiertem Schmelz kommt es zu wesentlich höherer Fluoridaufnahme.

Besondere Bedeutung hat die lokale Fluoridapplikation daher in der Phase der posteruptionen Schmelzreifung nach dem Zahndurchbruch. Die noch nicht vollständig mineralisierte Zahnoberfläche ist besonders empfindlich gegenüber kariösen Angriffen, kann aber aufgrund dieser Tatsache auch besonders viel Fluorid aufnehmen (*Schiffner* 2001). Nach *Castioni et al.* (1998) sind Fluoride hier bereits in niedriger Konzentration in der Lage, Demineralisation zu verhindern.

Ein weiterer Wirkungsmechanismus besteht in der Bildung einer Kalziumfluoriddeckschicht. Hierbei reagieren aus dem Zahn stammende Kalziumionen, bevorzugt bei saurem pH-Wert, mit dem Fluorid (*Gülzow* 1995, *Schiffner* 2001). Bei niedrigem pH-Wert geht diese Deckschicht wieder in Lösung und setzt Kalzium- und Fluoridionen frei. Dieser Fluoridspeicher setzt somit im richtigen Augenblick, bei bakterieller Säureproduktion, und an richtiger Stelle in niedriger Konzentration Fluorid frei. Die Kalziumdeckschicht benötigt zum regelmäßigen Wiederaufbau eine regelmäßige Fluoridapplikation.

In einer In-vitro-Studie untersuchten *Cruz und Rölla* (1991) den Einfluss des Pellikels auf die Bildung der Kalziumfluoriddeckschicht. Die Studie zeigte, dass ein 2 Stunden altes Pellikel die Menge an Kalziumfluorid an der Schmelzoberfläche nicht reduziert. Dies steht im Gegensatz zur Bildung von Kalziumphosphat, welche durch das Pellikel behindert wird. Möglich ist die Bildung der Kalziumfluoriddeckschicht dadurch, dass das Pellikel kein Diffusionshindernis darstellt. Die Beobachtung, dass das Pellikel nicht die Fluoridanlagerung auf dem Schmelz verhindert, ist darüber hinaus von klinischem Interesse, da sie bedeutet, dass das Pellikel vor der Fluoridierung nicht entfernt werden muss.

Untersucht wurde ebenfalls die hemmende Wirkung von Fluorid auf den bakteriellen Stoffwechsel. Abhängig von der Konzentration des Fluorids und dem pH-Wert können bakterielle Enzyme der Glykolyse gestört werden. Angesichts der über längere Zeiträume nur niedrigen Fluoridkonzentrationen wird der klinische Effekt dieser Hemmung jedoch als weniger bedeutend eingeschätzt.

2.2. Glasionomerzement

Glasionomerzemente sind Verbindungen aus Ionen freisetzenden Aluminium-Silikatgläsern und Polyalkensäure. Die Aktivierung der Härtungsreaktion erfolgt durch Zugabe von Weinsäure und Wasser. In einer Säure-Base-Reaktion der beiden Komponenten bindet das Material ab. Der abgebundene Zement besteht aus Glaspartikeln mit einer umgebenden Schicht aus Silikatgel in einer anionischen Polyacrylmatrix (*Eichner 1988*). Vor allem innerhalb der ersten 5-10 Minuten während der Abbindung sind Glasionomerzemente besonders feuchtigkeitsempfindlich. In der primären Härtungsphase erfolgt die Vernetzung der Polyalkensäure über Kalziumionen. In der sekundären Härtungsphase werden vor allem Aluminiumionen zur Vernetzung herangezogen, durch die zahlreicheren Bindungsmöglichkeiten der Aluminiumionen erhärtet die Struktur. Mit längerer Liegezeit gewinnt das Material ebenfalls an Härte durch den Verlust von Wasser aus der Matrix. Bei vergleichenden Untersuchungen verschiedener Glasionomerzemente war die Variabilität der Härtung in den ersten 24 Stunden größer als in späteren Zeitabschnitten (*de Schepper et al. 1991*).

Glasionomerzemente besitzen eine hohe Biokompatibilität. Glasionomerzement verursacht bei direktem Pulpakontakt zwar eine leichte Entzündungsreaktion der Pulpa, die jedoch innerhalb von 30 Tagen reversibel ist (*Plant et al. 1984*). Auch die Gingiva zeigt nur eine minimale Reaktion bei der Versorgung einer Klasse V Kavität mit Glasionomerzement (*Garcia und Charbeneau 1981*).

Mit den Glasionomerzementen wurde erstmals ein Füllungsmaterial geschaffen, welches eine chemische Bindung mit den Zahnhartsubstanzen eingehen kann. An der Haftung sind die Kalziumionen des Zahnes beteiligt. Auch diese Ionen gehen eine Reaktion mit der Polyalkensäure ein. Es bildet sich eine Kalziumphosphat-Polyalkenoat-Struktur zwischen der Zahnoberfläche und dem abbindenden Zement. Dabei ist die Haftung zwischen der Polyalkensäure und dem Apatit des Schmelzes aufgrund der höheren anorganischen Anteile besser als die Haftung zwischen der Polyalkensäure und dem Dentin.

Glasionomerzemente sind spröde und besitzen nur eine geringe Bruch-, Abrasions- und Druckfestigkeit. Diese werden durch die verschiedenen Zusammensetzungen der Glaspartikel

und das Anmischverhältnis von Pulver und Flüssigkeit weiter modifiziert. Glasionomerezemente besitzen eine große Porosität und zeigen somit eine größere Frakturgefahr.

Die ästhetischen Eigenschaften von Glasionomerezementen sind eher unbefriedigend. Sie besitzen eine große Opazität und passen sich in ihrer Farbe nicht dem umgebenden Schmelz an. Trotz ihrer geringen ästhetischen Akzeptanz sind Glasionomerezemente durch ihre Haftung an Dentin und ihre Fluoridfreisetzung für die Versorgung zervikaler Zahndefekte in weniger sichtbaren Bereichen indiziert. Die Verringerung der mit derartigen Defekten verbundenen Hypersensibilität hält infolge der Fluoridabgabe auch nach dem teilweisen oder kompletten Verlust der Füllung an (*Lawrence 1979, Low 1981*).

Die Glaspartikel besitzen einen Fluoridgehalt, der bis zu 23% betragen kann. Das freigesetzte Fluorid ist als Natriumfluorid, Kalziumfluorid und Aluminiumfluorid verfügbar (*Wilson und Kent 1972*). Da jedoch nur ein kleiner Teil der Glasionomerezementen freigesetzt wird, wird der Zement durch die Fluoridabgabe nicht geschwächt. Die Fluoridfreisetzung erfolgt in zwei Schritten: einer raschen Oberflächenablösung und einer langsameren kontinuierlichen Freisetzung aus der Tiefe (*Carvalho und Cury 1999*). Das freigesetzte Fluorid hat Einfluss auf den umgebenden Schmelz, Dentin und Wurzelzement (*Tveit und Gjerdet 1981*).

Im Milchgebiss werden Glasionomerezemente zur Versorgung von Front- und Seitenzahnkavitäten eingesetzt. Vor allem ihre leichte Handhabung macht sie anderen Füllungsmaterialien bei mangelnder Kooperativität der Kinder überlegen. Es ist hierbei auf eine makromechanische Retentionsform und ausreichende Materialstärke zu achten. Aber auch bei Milchzähnen ist der Einsatz bei Klasse-II-Kavitäten kritisch zu beurteilen, es sollte auf jeden Fall auf Okklusionskontakte im Bereich der Randleiste verzichtet werden. Die Schwachpunkte bezüglich hoher Abrasionsneigung, Rand- oder Füllungsfrakturen bleiben bestehen. Im Wechselgebiss können Glasionomerezemente als semipermanente Versorgung mit einer Überlebensdauer von etwa 2 Jahren eine Alternative zur Amalgamversorgung darstellen (*Krämer 1997*).

2.3. Fluoridfreisetzung und karieshemmende Wirkung von Glasionomerzementen

Bereits 1988 zeigte *Strübig* in einer In-vitro-Studie, dass im oberflächlichen Zahnschmelz eine erhebliche Anreicherung von Fluorid festzustellen ist, nachdem dieser für vier Wochen in Kontakt mit Glasionomerzement gestanden hatte.

Benelli et al. (1993) konnten nachweisen, dass während der Demineralisationsphase Glasionomerzemente Fluorid an die Plaque abgeben, welches während der Remineralisation wieder vom Schmelz aufgenommen wird. Es gehen folglich in der Nähe von Glasionomerfüllungen weniger Schmelzanteile verloren.

Marinelli et al. (1997) untersuchten den Einfluss verschiedener Fluoridquellen auf die Remineralisation von Zahnschmelz. Dabei zeigten Glasionomerzemente eine ähnlich hohe Erfolgsquote der Remineralisation wie fluoridhaltige Zahnpasta, aber beide entscheidend weniger als die Anwendung einer 0,05% Natriumfluorid-Spüllösung. Zu beachten ist hierbei, dass bereits die geringe Fluoriddosis der Glasionomerzemente zur Remineralisation des Schmelzes führte, ohne dass die Mitarbeit des Patienten erforderlich war.

Auch *Forss und Seppä* (1990) bestätigten, dass ein Teil des aus Glasionomerzement abgegebenen Fluorids vom umgebenden Schmelz aufgenommen wird. In Biopsien, die vor und nach dem Legen einer Glasionomerfüllung gemacht wurden, zeigte sich eine signifikant geringere Löslichkeit des Schmelzes. *Ten Cate und van Duinen* (1995) beobachteten eine Hypermineralisation in den an Glasionomerzementen angrenzenden Zahnhartgeweben. Die karies-ähnlichen Läsionen wurden hier auch unter Plaque remineralisiert.

Vor allem frischer Glasionomerzement kann die Schmelzerweichung bei Säureangriffen verhindern. Dieser Effekt vermindert sich zwar innerhalb von vier Wochen, kann aber durch eine Wiederaufladung des Materials mit fluoridhaltigen Produkten reaktiviert werden (*Seppä* 1994).

Noch 1992 fanden *Seppä et al.* keine signifikanten Unterschiede im durchschnittlichen Fluoridgehalt des Schmelzes vor und nach dem Legen von Glasionomerzementfüllungen. Allerdings war in dieser Studie der Gebrauch von Fluorid, z.B. durch Zahnpasten, nicht

eingeschränkt. Ziel war es vielmehr, zu beobachten, ob ein Anstieg des Fluoridlevels nach dem Legen der Glasionomerzementfüllung zu erkennen war, auch unter Anwendung von fluoridhaltigen Produkten.

Verschiedene Studien untersuchten auch die Aufnahme von Fluorid in Dentin. *Mukai et al.* (1993) bestätigten in einer In-vivo-Studie die Anreicherung von Fluorid unterhalb einer Glasionomerzementfüllung. Das Fluorid dringt in das Innere des Dentins vor und penetriert entlang der Dentintubuli.

Koch und Hatibovic-Kofman (1990) untersuchten in einer 6-wöchigen In-vivo-Studie den Effekt der Fluoridfreisetzung aus Glasionomerzement auf den Fluoridgehalt im Speichel. Die anfängliche Fluoridkonzentration des Speichels lag zwischen 0,038 und 0,050 ppm. Nach 6 Wochen war die Fluoridkonzentration des Speichels etwa 10fach höher als die Ausgangsfluoridkonzentration. Über den Untersuchungszeitraum sank die Fluoridabgabe erwartungsgemäß ab, die Fluoridkonzentration des Speichels fiel aber nicht auf ihre Ausgangswerte zurück. Die Fluoridkonzentration des Speichels stieg dabei mit der Anzahl der Glasionomerzementfüllungen. Der Nachweis von *Streptococcus mutans* sank innerhalb der 6 Wochen von 88% auf 64% der Probanden. In einer weiteren Studie fanden *Hatibovic-Kofman und Koch* (1991) die Erhöhung des Fluoridgehaltes im Speichel noch ein Jahr nach dem Legen von Glasionomerzementfüllungen.

Hørsted-Bindslev (1994) und *Creanor et al.* (1994) weisen jedoch darauf hin, dass in den verschiedenen Untersuchungen keine Übereinstimmungen bezüglich der Langzeiteffekte und der Fluoridkonzentrationen in Speichel und Schmelz beständen.

Immerhin besteht Einigkeit darüber, dass durch die Fluoridfreisetzung aus Füllungsmaterialien die Demineralisation an Füllungsrandern gehemmt und die Remineralisation begünstigt wird. Eine In-vitro-Studie von *Segura et al.* (1997) hat gezeigt, dass eine geringe konstante Dosis Fluorid einen Remineralisierungseffekt besitzt. Bei der Platzierung von Klasse-II-Restaurationen nahe künstlich erzeugten kariösen Läsionen bewirkten die Restaurationen mit Glasionomerzement die größte Reduzierung des Porenvolumens dieser Läsionen (*Segura et al.* 1997).

Oftmals wird bei der Behandlung approximaler Karies einzelner Zähne eine white-spot-Läsion des angrenzenden Zahnes beobachtet. Gerade hier sollten fluoridfreisetzende Füllungsmaterialien verwendet werden, um eine Remineralisation der Initialkaries zu bewirken (*Bynum und Donly 1999*).

Forsten (1990) hat in seiner Untersuchung gezeigt, dass die Fluoridfreisetzung bei niedrigem umgebenden pH-Wert sogar steigt, da die oberflächlich im Füllungsmaterial gelegenen Gläser angelöst werden.

Glasionomerzemente können durch Anwendung fluoridhaltiger Produkte wieder aufgeladen werden und setzen dann wieder Fluorid frei (*Preston et al. 1999, Gao et al. 2000*). Die Wiederaufladung ist neben der Viskosität des verwendeten Fluoridierungsmittels vor allem von seinem Fluoridgehalt abhängig. Die Konzentration der verwendeten Fluoridlösung bestimmt daher nach Wiederaufladung die Menge des abgegebenen Fluorids (*Takahashi et al. 1993*).

Auch außerhalb der konservierenden Zahnheilkunde haben die Glasionomerzemente ihr Anwendungsgebiet. *Fischer-Brandies et al.* (1991) verwendeten Glasionomerzemente zur Befestigung kieferorthopädischer Attachments. Der Fluoridanstieg im umgebenden Schmelz wurde gemessen. Die Untersuchung erfolgte mit Hilfe einer Elektronenstrahlmikrosonde und ermöglichte somit eine Punktanalyse in situ. Jeder beliebige Punkt des Zahnes konnte bezüglich des Fluoridgehaltes auf kleinstem Raum untersucht werden. Es wurde ein Fluoridanstieg von 120% gemessen, der in den ersten 10 Tagen besonders rasch stattfand und nach 40 Tagen einen Sättigungswert erreichte. Die Eindringtiefe in den Schmelz betrug 20 µm und die oberflächliche Ausbreitung mindestens 3 mm. Der Fluoridgehalt des Schmelzes erhöhte sich unabhängig vom natürlichen Fluoridgehalt des Zahnes. Die Menge des eingebauten Fluorids und die Eindringtiefe in den Schmelz waren Funktionen der Zeit.

2.4. Einfluss des umgebenden Mediums auf die Fluoridfreisetzung

Die Abgabe und Aufnahme von Fluorid aus bzw. in Glasionomerzement geht mit dem Mechanismus der Diffusion bei dem wasserhaltigen, gering löslichen Zement einher. Ein Teil des Wassers im Glasionomerzement ist mit der Zementmatrix verbunden. Über passive Diffusion erfolgt ein Austausch mit dem umgebenden Medium. Kurz nach Aushärten des Glasionomerzementes ist die Fluoridabgabe relativ hoch, sie fällt jedoch in den ersten 24 Stunden rapide ab. Die hohe initiale Freisetzung von Fluorid wird als direkte Folge der Anlösung der im Material enthaltenen Glaspartikel durch die Polyalkensäure erklärt. Die spätere langsame Abgabe erfolgt durch die Anlösung der Glaspartikel durch Wasser, das vom Glasionomerzement aufgenommen und in der Hydrogelmatrix angesäuert wird (*Preston et al.* 1999).

Da Wasser für die Aushärtung, aber auch für die Fluoridfreisetzung erforderlich ist, wurde die Fluoridfreisetzung häufig in Wasser untersucht. Eine Reihe von Untersuchern hat jedoch im Vergleich hierzu auch die Freisetzung in natürlichem oder künstlichem Speichel untersucht. Einige dieser Studien, bei denen stets eine im Vergleich zur Lagerung in Wasser niedrigere Abgabe von Fluorid ermittelt wurde, sollen im Folgenden skizziert werden.

Preston et al. (1999) zeigten, dass neben dem Lagerungsmedium auch die Lagerungszeit sowie das jeweilige Material Einfluss auf die Fluoridfreisetzung haben. Die Autoren beobachteten auch nach 64 Tagen noch eine relativ hohe Fluoridfreisetzung. In künstlichem Speichel wurde bedeutend weniger Fluorid als in Wasser freigesetzt. Zur Erklärung weisen die Autoren darauf hin, dass Speichel eine größere Viskosität als Wasser habe und nicht wie Wasser in das Material hinein diffundieren könne, um Ionen herauszulösen.

Die Fluoridabgabe in künstlichem Speichel wird auch durch die Anwesenheit von Kalziumionen modifiziert, und es kommt zur Bildung von Kalziumfluorid. Dies zeigte eine Studie von *Levallois et al.* (1998), deren künstlicher Speichel zusätzlich zu Kalziumionen noch Hydrogencarbonat und Phosphat als puffernde Substanzen enthielt. Organische Bestandteile waren nicht enthalten. Die Autoren interpretieren die Unterschiede der Fluoridfreisetzung in destilliertem Wasser und künstlichem Speichel durch die Bildung von CaF_2 und dessen Niederschlag an der Materialoberfläche. Diese schwer lösliche Deckschicht

bildet demnach eine physikalische Barriere. Die Gegenwart von Kalzium wurde mit dem Elektronenmikroskop nachgewiesen. Es gab dabei zwei unterschiedliche Zonen: Zone 1 ist die Wachstumszone der CaF_2 -Deckschicht. In dieser Zone bildet sich die Deckschicht sofort nach dem Kontakt der freigesetzten Fluoridionen mit den Kalziumionen der Lösung, sobald das Löslichkeitsprodukt erreicht wird. In Zone 2 hat die Deckschicht die Tendenz sich aufzulösen. Sie steht im Gleichgewicht mit der Lösung, solange das Löslichkeitsprodukt des Fluorids nicht erreicht ist. Die Dicke der CaF_2 -Deckschicht hängt somit vom Austausch ab, der zwischen Zone 1 und Zone 2 stattfindet. Bei hoher Fluoridfreisetzung beginnt die Deckschicht zu wachsen, bei geringer Fluoridfreisetzung verschwindet sie. Die Fluoridfreisetzung in destilliertem Wasser zeigt nach *Levallois et al.* (1998) somit die Menge Fluorid an, die das Material freisetzen könnte, wenn es nicht durch die physikalische Barriere der Deckschicht behindert wäre. In künstlichem Speichel wird die schwer lösliche Deckschicht innerhalb des ersten Tages gebildet.

Glockmann et al. (1997) untersuchten die Fluoridfreisetzung über einen Zeitraum von 96 Wochen. Auch sie kamen zu dem Ergebnis, dass das Lagerungsmedium einen signifikanten Einfluss auf die Lösung der Fluoridionen besitzt und dass wesentlich größere Fluoridmengen bei Lagerung in Aqua dest. als bei Aufbewahrung in künstlichem Speichel abgegeben werden.

Unterstützt wurden diese Untersuchungsergebnisse auch von *Weidlich et al.* (2000). Die Autoren zeigten darüber hinaus, dass die freigesetzten Fluoridionen überwiegend aus nicht in die Glasionomermatrix eingebautem Natriumfluorid stammen. Durch die Abgabe der Fluoridionen besteht somit keine Gefahr der Schwächung des Füllungsmaterials.

Aufgrund der Komplexität des Mundhöhlenmilieus und der Zusammensetzung des natürlichen Speichels können die Messungen zur Fluoridfreisetzung in deionisiertem Wasser nicht repräsentativ für die Freisetzungsprozesse in vivo sein. *El Mallakh und Sarkar* (1990) zeigten, dass auch in leicht angesäuertem künstlichen Speichel weniger Fluorid freigesetzt wird als in neutralem Wasser. Vorhergehende Untersuchungen hatten gezeigt, dass in angesäuerten Medien mehr Fluorid freigesetzt wird als im gleichen, nicht angesäuerten Lagerungsmedium.

Wandera et al. (1996) untersuchten die unterschiedlichen Mechanismen der Fluoridfreisetzung in deionisiertem Wasser und künstlichem Speichel. Sie fanden eine Abhängigkeit der Fluoridfreisetzung von Erosionen der Materialoberfläche. Risse, Fissuren oder Zersetzung des Materials förderten die Fluoridfreisetzung. Dies gelte aber überwiegend für deionisiertes Wasser. Die gefundenen Unterschiede zum künstlichen Speichel hängen mit dem Fehlen eines definierten Konzentrationsgefälles zusammen. Einige im künstlichen Speichel vorhandene Ionen besitzen demnach das Potenzial, mit dem Fluorid zu reagieren oder vom Material absorbiert zu werden. Diese Ionen können für die Fluoridfreisetzung aber auch als Barriere wirken. Dass die Fluoridfreisetzung entscheidend vom Ionengehalt und der Zusammensetzung des Lagerungsmediums beeinflusst wird, zeigten auch *Tveit und Gjerdet* (1981), *Geurtsen et al.* (1998) sowie *Williams et al.* (2001).

Bell et al. (1999) untersuchten die Fluoridfreisetzung im natürlichen Speichel und verglichen sie mit der Fluoridfreisetzung in deionisiertem Wasser und deionisiertem Wasser nach vorheriger Inkubation in natürlichem Speichel. Die Inkubationszeit variierte zwischen 10 Minuten und einer Stunde. Dabei bestand kein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen mit 10-minütiger oder einstündiger Inkubation. Im Mund wird sich durch die Anwesenheit von Speichel ein Pellikel bilden, und es kann sich Plaque an der Füllungs Oberfläche ablagern. Sowohl Pellikel als auch Plaque setzen die Diffusion von Fluorid herab. Die Studie zeigte, dass dieser Effekt bereits nach einer Inkubationszeit von 10 Minuten eintritt. Auch *Rezk-Lega et al.* (1991) wiesen natürlichen Speichel als Faktor nach, der die Fluoridfreisetzung reduziert.

Der Einfluss des Pellikels zeigt sich ebenfalls in einer Studie von *Damen et al.* (1996), wobei Glasionomerfüllungen über einen Zeitraum von 14 Wochen „gealtert“ waren und vor ihrer „Wiederaufladung“ mittels einer Natriumfluoridlösung mit natürlichem Speichel überzogen wurden. Die Füllungsproben setzten nach dieser Behandlung vergleichsweise weniger Fluorid frei.

2.5. Speichel

Die Hauptmenge an Speichel wird überwiegend von den großen Speicheldrüsen (glandula parotidea, glandula submandibularis, glandula sublingualis) produziert. Akzessorische Speicheldrüsen befinden sich in Gaumen, Wangen, Zunge und Lippen. Die tägliche Speichelproduktion beträgt etwa 0,5 l (Gülzow 1995).

Den anorganischen Anteil des Speichels bilden eine Reihe von Ionen wie Kalzium, Kalium, Natrium, Magnesium, Phosphat, Chlorid, Bikarbonat, Fluorid und Thiocyanat. Die Ionen sind Bestandteile von Puffersystemen. Der pH-Wert des Ruhegesamtspeichels liegt zwischen 6,4 und 7,0.

Zu den organischen Anteilen des Speichels gehören Glykoproteine. Die größte Fraktion stellen die Muzine dar. Sie sind für die Viskosität des Speichels verantwortlich und binden an die Zahnoberfläche. Weiterhin finden sich eine Reihe von Enzymen (z.B. Amylase), Lysozym, Laktoferrin, Laktoperoxidase und spezifische Antikörper im Speichel. Das Peroxidasensystem wirkt bakteriostatisch, indem es Stoffwechselleistungen der Bakterienzelle hemmt. Es schützt die Zelle vor dem schädlichen Hydrogenperoxid und seinen Derivaten, welche im Mund durch Aerobier und Phagozyten produziert werden. Wachstum und Enzymaktivität von *Streptococcus mutans* können durch das sekretorische Immunglobulin A hemmend beeinflusst werden. Glykoproteine und Immunglobuline sind für die Aggregation und Adhäsion von Mikroorganismen an Oberflächen verantwortlich. Der Gesamtproteingehalt liegt bei etwa 300 mg/100 ml Speichel (Gülzow 1995).

Die Proteine des Speichels lagern sich zu gemischten Proteinaggregaten zusammen und bilden micellen-ähnliche Kugeln. Viele physiologische Eigenschaften des Speichels sind hierauf zurückzuführen, wie z.B. die Fähigkeit zur Bakterienagglutination und die Affinität zu Hydroxylapatit (Young *et al.* 1999).

Speichel besitzt durch seinen mechanischen Spüleffekt auf Mikroorganismen und Speisereste eine wichtige Clearancefunktion. Speichel enthält weiterhin Puffersysteme, welche den pH-Wert im Mund weitgehend konstant halten. Es sind dies der Bikarbonat-, Phosphat- und Proteinpuffer. Im Speichel enthaltene Ionen sind Voraussetzung für die postoperative

Schmelzreifung und Remineralisationsprozesse an der Schmelzoberfläche. Weiterhin werden durch den Speichel das Kauen und Schlucken der Nahrung erleichtert und die Geschmackswahrnehmung begünstigt. Bereits in der Mundhöhle beginnt der Aufschluss der Nahrung durch die Speichelenzyme.

Speichel hält die Schleimhäute und die Zahnoberflächen feucht. Er besitzt eine Schutzfunktion. Die im Speichel enthaltenen Proteine und Glykoproteine bilden das exogene Schmelzoberhäutchen, das Pellikel.

Das Pellikel muss als dynamisches System betrachtet werden, welches einem kontinuierlichen Umbau durch chemische und enzymatische Prozesse unterliegt. Es werden zwei Stadien der Pellikelbildung unterschieden. Zuerst erfolgt die Bildung einer elektronendichten Basalschicht, gefolgt von der Absorption einer weniger dichten globulären Schicht. Die Formation des Pellikels wird bestimmt durch die Lokalisation in der Mundhöhle und somit durch die lokal unterschiedliche Speichelzusammensetzung und Fließrate, sowie durch unterschiedliche mechanische Beanspruchung der Oberflächen (*Hannig 1999*).

Das Pellikel erfüllt auf der Zahnoberfläche mehrere Funktionen. So reduziert es die Demineralisation der Schmelzoberfläche bei nahrungsbedingten direkten Säureangriffen (Erosionen) (*Hannig 1999*). Die Ionenbeweglichkeit von Kalzium- und Phosphationen aus dem Schmelz wird herabgesetzt. Das Pellikel bildet aber auch die Oberfläche für die Bakterienkolonisation und beeinflusst die mikrobielle Plaqueformation.

3. Material und Methodik

3.1. Fluoridbestimmung im Lagerungsmedium

3.1.1. Material

3.1.1.1. Materialproben

Die Studie wurde mit dem Glasionomerzement Ketac Fil® Aplicap® (3M ESPE, St. Paul/Seefeld, USA/Germany) durchgeführt. Verwendet wurde das Kapselsystem, wobei eine Kapsel 272 mg Pulver und 92 mg Flüssigkeit enthält. Das Pulver enthält Kalzium-Natrium-Fluor-Phosphor-Aluminiumsilikat im Verhältnis 11:2:13:2:16:56, das Gewicht variiert leicht bezüglich der Zahnfarbe. In der Flüssigkeit befinden sich Polyacrylsäure und Polymaleinsäure im Verhältnis 1:1, außerdem ist Weinsäure enthalten. Der Füllstoffanteil des abgebundenen Materials liegt bei 76% (Gew.-%), die mittlere Partikelgröße beträgt 7,5 µm, der Fluoridgehalt des Materials liegt bei 10,6% (Gew.-%) und die Löslichkeit nach ISO 7489 bei 0,05% (µg/mm₂).

Das Material wurde entsprechend der Gebrauchsinformation maschinell angemischt (Hochfrequenzmischer Capmix®, 3M ESPE, St. Paul/Seefeld, USA/Germany; ca. 4000 Schwingungen/Minute, Mischdauer 10 Sekunden).

Es wurden 72 Materialproben von ca. 5 mm Durchmesser hergestellt. Als „Kavitäten“ wurden standardisierte Plastikröhrchen verwendet, in die an einer Seite der Glasionomerzement in einer Schichtdicke von ca. 3 mm gelegt wurde. Oberhalb des Zementes wurden die Röhrchen zur Stabilisierung mit Palavit G® aufgefüllt (Abbildung 1). Zur vollständigen Aushärtung wurden die Füllungen 24 Stunden in einer feuchten Kammer aufbewahrt, im Anschluß daran erfolgte eine Politur mit Soflex-Scheiben (3M ESPE, St. Paul/Seefeld, USA/Germany) unter Wasserkühlung. Anschließend erfolgte die Überführung in die Lagerungsmedien.

3.1.1.2. Lagerungsmedien

Die Aufbewahrung der Materialproben erfolgte in Polyethylenbechern mit jeweils 2,5 ml Flüssigkeit. Es wurden 4 verschiedene Medien verwendet. In Gruppe A, bestehend aus 24 Materialproben, erfolgte die Aufbewahrung in Aqua bidest.. In Gruppe B wurden die Proben für eine Stunde mit natürlichem Speichel beschickt und dann in Aqua bidest. überführt. In Gruppe C erfolgte die Aufbewahrung in 2,5 ml künstlichem Speichel (s. u.). Die Gruppen B und C bestanden aus jeweils 12 Proben. Die Probekörper der Gruppe D (24 Materialproben) wurden ebenfalls für eine Stunde mit natürlichem Speichel überzogen und anschließend in den künstlichen Speichel überführt. Die höhere Probenanzahl in den Gruppen A und D kommt dadurch zustande, dass unter den jeweiligen Lagerungsbedingungen die Fluoridaufnahme im Zahnschmelz überprüft werden sollte (siehe 3.2.). In Tabelle 1 ist die unterschiedliche Lagerung der Gruppen A – D wiedergegeben.

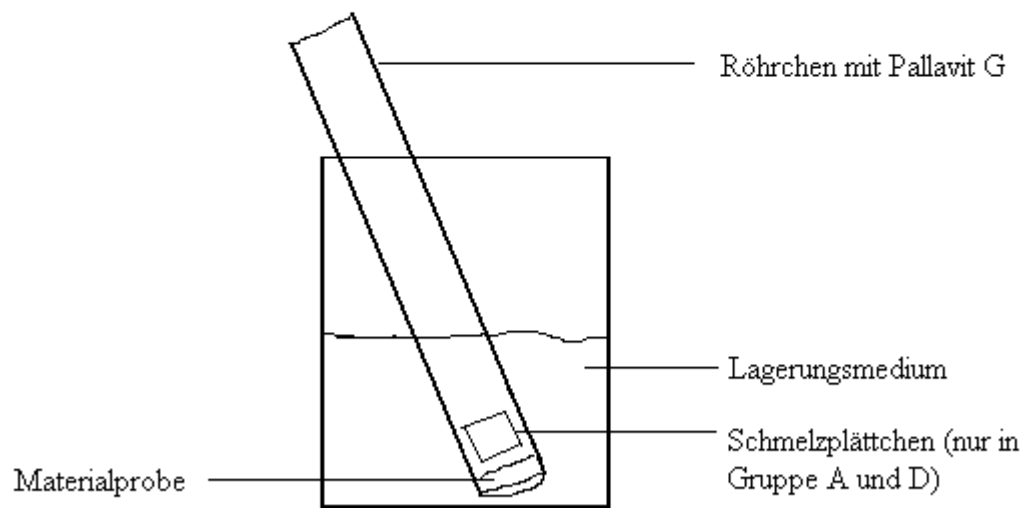
Die Proben wurden täglich in frisches Lagerungsmedium umgesetzt. Die Aufbewahrung erfolgte unter leichten Schüttelbewegungen bei 37°C in einem temperierten Raum.

Der natürliche Speichel wurde, stimuliert durch das Kauen auf einer Paraffinwachskugel (UNADENT, Ellwangen), täglich neu gewonnen und sofort zur Pellikelbildung verwendet. Die Herstellung des künstlichen Speichels erfolgte nach der von *Matzker und Schreiber* (1972) beschriebenen Methode. Dabei wurden in jeweils 10 Liter Aqua dest. 12,0g KCl, 8,43g NaCl, 2,61g K₂PO₄ und 1,46g CaCl₂ gelöst. Mit 1n HCl wurde der pH-Wert dieser Lösung auf 6,9 eingestellt.

Tabelle 1: Übersicht der Lagerungsmedien der Gruppen A – D

	Gruppe A n = 24	Gruppe B n = 12	Gruppe C n = 12	Gruppe D n = 24
natürliches Pellikel (1 Stunde)	nein	ja	nein	ja
Lagerungsmedium	Aqua bidest.	Aqua bidest.	künstlicher Speichel	künstlicher Speichel

Abbildung 1: Probekörper und Aufbewahrung
in den Lagerungsmedien



3.1.1.3. Lösungen

NaF-Lösung

Um den Einfluss einer Fluoridapplikation überprüfen zu können, wurde die Hälfte der Materialproben einer Gruppe (in Gruppe A und D jeweils 12 Materialproben, jeweils 6 davon mit benachbarten Schmelzplättchen) täglich mit einer Natriumfluoridlösung gespült, deren Fluoridgehalt 1250 ppm betrug.

Eine 1250-ppm-Fluoridlösung bedeutet das Lösen von 1,25 g Fluorid pro Liter Flüssigkeit. Da die Elementanteile bei Natriumfluorid den relativen Atommassen von Na (22,99 g) und F (18,998 g) entsprechen, wurden 2,76 g NaF mit Hilfe der geeichten Digitalwaage abgewogen und in einem Liter Aqua dest. gelöst. Zur Einstellung eines leicht sauren pH-Wertes wurde 1ml 0,1m HCl dazugegeben. Der pH-Wert betrug etwa 6,3.

TISAB II® (Gesamt-Ionen-Einstell-Puffer, Orion Nr. 940909)

Es wurde der gebrauchsfertige Puffer TISAB II® verwendet. In sauren Lösungen mit einem pH-Wert unter 5 komplexieren Wasserstoffionen einen Teil der Fluoridionen, indem sie die undissoziierte Säure HF und das Ion HF_2^- bilden. Das Hydroxid-Ion stört die Funktion der Fluoridelektrode. Die Zugabe von TISAB II® zu den Proben puffert den pH-Wert zwischen 5,0 und 5,5. So werden Störungen durch Hydroxid-Ionen und Bildung von Hydroxidkomplexen des Fluorids verhindert.

3.1.2. Methodik

3.1.2.1. Lagerung und Fluoridierung der Proben

Die Probekörper waren in regelmäßig fluoridierte und nicht fluoridierte Ansätze unterteilt. Aus Gruppe A und D wurden jeweils 12 Proben, davon jeweils 6 Proben mit benachbarten Schmelzplättchen, aus Gruppe B und C jeweils 6 Proben fluoridiert.

Die regelmäßig fluoridierten Proben wurden über den Versuchszeitraum von 28 Tagen täglich 3 Minuten in die mittels Magnetrührer leicht bewegte Natriumfluoridlösung eingetaucht. Anschließend wurden die Proben für 2 Minuten mit Aqua bidest. gespült und wieder in einem Polyethylenbecher mit jeweils frischem Medium aufbewahrt. Die Proben der nicht fluoridierten Gruppe wurden täglich nur 2 Minuten mit Aqua bidest. gespült und dann wieder in einen Polyethylenbecher mit jeweils frischem Medium überführt. Tabelle 2 zeigt die Aufteilung der 72 Materialproben auf die unterschiedlichen Lagerungsmedien und Fluoridanwendungen.

Tabelle 2: Übersicht der Aufteilung der 72 Materialproben

Lagerungsmedien	Anzahl der Materialproben	Fluoridierungsanwendungen
Gruppe A: Aqua bidest.	24	12 nicht fluoridiert, davon 6 mit benachbartem Schmelzplättchen 12 fluoridiert, davon 6 mit benachbartem Schmelzplättchen
Gruppe B: Aqua bidest. und Beschichtung mit natürlichem Speichel	12	6 nicht fluoridiert 6 fluoridiert
Gruppe C: künstlicher Speichel	12	6 nicht fluoridiert 6 fluoridiert
Gruppe D: künstlicher Speichel und Beschichtung mit natürlichem Speichel	24	12 nicht fluoridiert, davon 6 mit benachbartem Schmelzplättchen 12 fluoridiert, davon 6 mit benachbartem Schmelzplättchen

3.1.2.2. Bestimmung der Fluoridfreisetzung der Materialproben

Nach 24 Stunden Aufbewahrung in den verschiedenen Medien wurde erstmals die freigesetzte Fluoridmenge jeder Probe bestimmt. Nach dem 2., 4., 8., 14., 21., 28. Tag ab Aushärtung des Materials wurde die Fluoridabgabe der jeweils letzten 24 Stunden bestimmt. Die Bestimmung erfolgte mittels der ionensensitiven Fluoridelektrode Orion 96-09 (Orion Research, Cambridge, USA). Diese wurde mit der vom Hersteller gelieferten Lösung Nr. 90-00-01 (Orion Research) gefüllt. Zur Fluoridbestimmung wurden jeweils 2 ml des Aufbewahrungsmediums abpipettiert und mit 2 ml TISAB II® vermischt. Unter Verwendung eines Magnetrührers wurde der Fluoridgehalt bestimmt. Die Messungen erfolgten bei Raumtemperatur. Zwischen jeder Messung wurden sowohl die Elektrode als auch der Magnetrührer gründlich mit deionisiertem Wasser gespült und getrocknet. Das Elektrodenpotenzial wurde am Digital-pH-mV-Meter Orion 701 A (Orion Research, Cambridge, USA) abgelesen. Zu den abgelesenen Millivolt-Werten konnten aus einer vorher erstellten Eichkurve die entsprechenden ppm-Werte ermittelt werden. Vor Beginn und alle sieben Tage während der Untersuchung wurde die Steilheit der Elektrode gemessen und somit ihre Funktionsfähigkeit überprüft. Der Fluoridgehalt der Lösung wurde auf die Probenoberfläche des Glasionomorzementes bezogen und als $\mu\text{g}/\text{cm}_2$ angegeben.

Steilheit der Elektrode

25 ml Aqua bidest., 25 ml TISAB II® und 0,5 ml 100 ppm Standard-Fluoridlösung (Nr. 940907, Orion Research, Cambridge, USA) wurden in einen Messbecher gegeben und mittels einem Magnetrührer gut bewegt. Nach 20 Minuten wurde das Elektrodenpotenzial abgelesen. Anschließend wurden 5 ml 100 ppm Standard-Fluoridlösung dazupipettiert. Nach weiteren 20 Minuten wurde ebenfalls das Elektrodenpotenzial abgelesen. Die Differenz zwischen den beiden Potenzialen wurde ermittelt. Eine einwandfreie Elektrodenfunktion war gewährleistet, wenn die Potenzialdifferenz bei 56 ± 1 mV lag.

Erstellung der Eichkurve

Durch Verdünnung der 100 ppm Standard-Fluoridlösung wurde eine 10 ppm Fluoridlösung hergestellt. Hierzu wurden 10 ml der 100 ppm Lösung auf 100 ml mit Aqua bidest. aufgefüllt. Ausgehend von der 10 ppm Fluoridlösung wurde eine geometrische Verdünnungsreihe hergestellt. So entstanden durch eine Verdünnung von

- 1: 2 eine 5 ppm Fluoridlösung
- 1: 5 eine 2 ppm Fluoridlösung
- 1: 10 eine 1 ppm Fluoridlösung
- 1: 20 eine 0,5 ppm Fluoridlösung
- 1: 50 eine 0,2 ppm Fluoridlösung
- 1:100 eine 0,1 ppm Fluoridlösung
- 1:200 eine 0,05 ppm Fluoridlösung.

Es wurden je 2 ml der jeweiligen Verdünnung und 2 ml TISAB II® in einen Polyethylenbecher pipettiert. Unter Verwendung eines Magnetrührers wurde nach 15 Minuten der mV-Wert abgelesen. Der Wert der 0,5 ppm Lösung wurde mehrfach gemessen und das pH/mV-Meter auf 73,7 mV justiert. Die Messung erfolgte nach ansteigenden Konzentrationen. Es wurden 8 Messungen der Verdünnungsreihe durchgeführt, aus denen der Mittelwert errechnet wurde. Die Darstellung der Eichkurve erfolgte auf halblogarithmischem Papier.

Umrechnung ppm in µg/cm

Um Aussagen zur Fluoridfreisetzung bezogen auf die Probenoberfläche treffen zu können, war eine Umrechnung der freigesetzten Fluoridmengen in ppm auf die exponierte Probenoberfläche in cm₂ erforderlich. Bekannt sind:

1.

$$\text{ppm Fluorid} = \mu\text{g Fluorid} / \text{ml Lösung}$$

2. Die Füllungsoberflächen waren oval. Der kleinere Durchmesser aller Proben betrug im Mittel 4,63 mm und der größere Durchmesser betrug im Mittel 5,46 mm.

$$\text{Oberfläche} = \pi \times \frac{d_1}{2} \times \frac{d_2}{2}$$

$$\text{Oberfläche} = 3,14 \times 2,3167 \times 2,7292$$

$$\text{Oberfläche} = 19,863 \text{ mm}^2 = 0,199 \text{ cm}^2$$

Somit wurden die im jeweiligen Medium gemessenen µg Fluorid aus 0,199 cm₂ Füllungsoberfläche freigesetzt.

3. Zur Umrechnung der aus der Eichkurve abgelesenen Fluoridwerte, welche die Fluoridkonzentration in der Lösung in ppm (= µg/ml) wiedergeben, wurde zunächst die gesamte abgegebene Fluoridmenge von jeder Probe (in µg) errechnet. Diese ergibt sich aus dem abgelesenen Wert der Fluoridkonzentration multipliziert mit dem Flüssigkeitsvolumen, das in jedem Polyethylenbecher enthalten war (2,5 ml). Die berechnete Fluoridmenge (in µg) wird nun durch die Probenoberfläche geteilt, um die auf die Probenoberfläche bezogene Fluoridfreisetzung in µg/cm₂ zu erhalten:

$$F_{\text{Abgabe}} \left(\frac{\mu\text{g}}{\text{cm}_2} \right) = \frac{F_{\text{konz.}} (\mu\text{g/ml}) \times 2,5 \text{ ml}}{\frac{x d_1}{2} \times \frac{d_2}{2}} = F_{\text{konz.}} (\mu\text{g/ml}) \times 12,59$$

3.2. Fluoridbestimmung im Schmelz

3.2.1. Material (Schmelzplättchen)

Für die vorliegende Arbeit wurden Schmelzplättchen ausschließlich aus kariesfreien permanenten Incisivi, Prämolaren und Molaren gewonnen. Die Zähne wurden vom Zeitpunkt der Extraktion an in physiologischer Kochsalzlösung bei Raumtemperatur aufbewahrt. Um Fehlermöglichkeiten auszuschalten, wurden nur Zähne mit intakter Schmelzoberfläche verwendet, die keine Beschädigung durch die Extraktion aufwiesen. 24 Zähne wurden zunächst grob mit einem Skalpell gereinigt. Die gründliche Reinigung erfolgte mit Zahnbürste und Bimsstein. Es wurden aus jedem Zahn zwei benachbarte Schmelzplättchen von ca. 4x4 mm Größe und etwa 2 mm Dicke herausgetrennt. Das Herauspräparieren der Schmelzplättchen erfolgte mit Hilfe einer Diamantscheibe unter ständiger Wasserkühlung. Die oberflächliche Politur wurde mit Soflex-Polierscheiben (3M ESPE, St. Paul/Seefeld, USA/Germany) unter ständiger Wasserkühlung durchgeführt. Von den 24 Schmelzplättchenpaaren diente die Hälfte als Kontrollgruppe und wurde bis zur Fluoridbestimmung in einer feuchten Kammer aufbewahrt. 12 Schmelzplättchen wurden mit Sekundenkleber im Abstand von ca. 2mm neben jeweils einer Materialprobe der Gruppe A an dem Plastikröhrchen befestigt, 12 Schmelzplättchen wurden in gleicher Weise neben Materialproben der Gruppe D befestigt (siehe Abbildung 1).

3.2.2. Methodik: Bestimmung des Fluoridgehaltes der Schmelzplättchen

Vorbereitung der Schmelzplättchen

Für die Analyse wurden alle Schmelzplättchen so in grünes Prepon®-Wachs eingebettet, dass nur die zu analysierende natürliche Schmelzoberfläche nicht mit Wachs bedeckt war. Diese Fläche wurde mit einer Schublehre ausgemessen. Die Fluoridbestimmung erfolgte in der oberflächlichen Schmelzschicht, welche hierzu mit Perchlorsäure in Lösung gebracht wurde. Zur besseren Handhabung beim Abätzvorgang wurde an den Proben ein feiner Draht im Wachs befestigt. Bis zum Zeitpunkt des Abätzens wurden die so vorbereiteten Schmelzplättchen bei 4°C in einer feuchten Kammer aufbewahrt.

Für den Vorgang des Abätzens wurden 1 ml 0,5 m Perchlorsäure in einen kleinen Kunststoffbecher pipettiert. Das eingebettete Schmelzplättchen wurde für 60 Sekunden darin geschwenkt und anschließend mit 4 ml Tri-Natriumcitrat-2-hydrat abgespült. Somit war die in Lösung gegangene Schmelzmenge in 5 ml Gesamtvolumen enthalten. Die Proben konnten nun der Fluorid- und Phosphatanalyse unterzogen werden. Dabei diente die Phosphatbestimmung der Errechnung der in Lösung gegangenen Schmelzschicht, auf welche dann die gefundene Fluoridmenge bezogen werden konnte.

Analytische Verfahren

a) Fluoridbestimmung nach *McCann*

Die Bestimmung des Fluoridgehaltes der abgeätzten Schmelzoberfläche aller Plättchen wurde mittels der von *McCann* (1968) beschriebenen Methode mit einer Fluoridelektrode (Orion Fluoride Electrode, model 96-09) und einem Digital-pH-Meter (Orion Research) durchgeführt.

Zuerst wurde eine weitere Eichkurve erstellt, um die mit der Elektrode gemessenen Millivolt in Fluoridkonzentrationen umrechnen zu können.

Hierzu waren folgende Lösungen notwendig:

1. Fluoridstandardlösung

55,275 mg Natriumfluorid/ 1000 ml Aqua bidest.

(=25 µg F /ml)

2. Fluoridlösungen

0,2 ml F –Standardlösung ad 500 ml Lösung = 0,050 µg/ 5 ml

0,5 ml F –Standardlösung ad 500 ml Lösung = 0,125 µg/ 5 ml

1,0 ml F –Standardlösung ad 500 ml Lösung = 0,250 µg/ 5 ml

2,0 ml F –Standardlösung ad 500 ml Lösung = 0,500 µg/ 5 ml

4,0 ml F –Standardlösung ad 500 ml Lösung = 1,000 µg/ 5 ml

3. 0,5 M Perchlorsäure (HClO₄)

4. 1,0 M Tri-Natriumcitrat-2-hydrat

Zur Herstellung unterschiedlich konzentrierter Eichlösungen wurde verschiedenen Mengen der Fluoridstandardlösung 200 ml Tri-Natriumcitrat-2-hydrat und 100 ml Perchlorsäure zugesetzt. Der Ansatz wurde nach Zugabe dieser Substanzen mit Aqua bidest. auf 500 ml aufgefüllt.

Je 5 ml der Eichlösungen wurden zusammen mit einem Rührstäbchen in kleine Polyethylenbecher gegeben und 20 Minuten auf einen Magnetrührer gestellt. Während dieser Zeit tauchte die Elektrode ca. 1,5 cm in die Eichlösung ein. Danach wurden die relativen Millivoltwerte am Digital-pH-Meter abgelesen. Um eine möglichst exakte Eichkurve zu erhalten, wurden alle Lösungen mehrfach gemessen. Die Werte wurden auf halblogarithmischem Papier aufgetragen, auf welchem die Fluoridkonzentrationen in $\mu\text{g F} / 5 \text{ ml}$ logarithmisch gegen die dazugehörigen mV-Werte eingezeichnet wurden. Vor jeder Fluoridbestimmung wurde das Digital-pH-Meter mit den Eichlösungen auf die entsprechenden Millivolt geeicht.

Die Proben der abgeätzten Schmelzoberflächen wurden in gleicher Weise ebenfalls für 20 Minuten mittels Fluoridelektrode analysiert. Am Digital-pH-Meter wurden die relativen mV-Werte abgelesen und aus der erstellten Eichkurve die dazugehörigen Fluoridkonzentrationen in ppm abgelesen.

b) Phosphatbestimmung nach *Lowry*

Der Fluoridgehalt F (in ppm) im abgeätzten Schmelz konnte nur mittels Errechnung der in Lösung gegangenen Schmelzmenge bestimmt werden. Da der Phosphatgehalt im Schmelz weitgehend konstant ist (*Armstrong und Brekhus* 1937) wurde hierzu die Phosphatmenge in der Lösung herangezogen. Zur Bestimmung des Phosphatgehaltes in der abgeätzten Schmelzlösung wurde die von *Lowry et al.* (1954) angegebene photometrische Methode angewendet. Eine Eichkurve war erforderlich, um zu den gemessenen Extinktionen die zugehörige Phosphatmenge bestimmen zu können. Hierzu wurde auf eine Eichkurve der Abteilung für Zahnerhaltungskunde und Präventive Zahnheilkunde der Universität Hamburg zurückgegriffen.

Für die Phosphatbestimmung der abgeätzten Schmelzschicht wurden folgende Lösungen benötigt:

1. Veraschungsgemisch : 278 ml konzentrierte Schwefelsäure
(H_2SO_4 ; $d = 1,84$)

+ 65 ml 70% Perchlorsäure
(HClO_4 ; $d = 1,67$)

ad 1000 ml Aqua bidest. aufgefüllt.

2. Ammoniummolybdat- : 10,62 g Ammoniumheptamolybdat-4-hydrat
Reagenz ($(\text{NH}_4)_6\text{MO}_7\text{O}_2 \times 4 \text{H}_2\text{O}$)

+ 90,20 g Natriumacetat-3-hydrat
($\text{CH}_3\text{COONa} \times 3 \text{H}_2\text{O}$)

beides in 4 Liter Aqua bidest. gelöst.

3. Konzentrierte Salpetersäure (HNO_3)
4. 10% Ascorbinsäure

Zur Analyse wurden 0,2 ml der in Säure gelösten Schmelzoberfläche zusammen mit 0,5 ml Veraschungsgemisch in ein Reagenzglas pipettiert. Die Ansätze wurden 1 Stunde im vorgeheizten Veraschungsblock (THERMOchem-Metallblock-Thermostat, Fa. Liebisch) bei 120°C und 1,5 Stunden bei 165°C verascht. Wenn die Proben danach nicht völlig verascht waren, was an einer fehlenden Dunkelfärbung zu erkennen war, wurden 2 Tropfen konzentrierte Salpetersäure (HNO_3) zugefügt, und es wurde noch eine weitere Stunde verascht.

Nach dem Abkühlen wurden die Proben mit 0,5 ml Aqua bidest. versetzt und für 10 Minuten in ein kochendes Wasserbad gestellt. Das eventuell gebildete Metaphosphat wurde hierbei hydrolysiert. Nach erneutem Abkühlen wurden jeder Probe 5 ml eines frisch angesetzten Reagenzgemesches aus 100 ml Ammoniummolybdat und 10 ml 10% Ascorbinsäure zugegeben und bis zur Schlierenfreiheit geschüttelt. Zur Farbentwicklung wurden die Reagenzgläser für eine Stunde in ein Wasserbad von 38°C gestellt.

Anschließend konnte im Photometer Eppendorf bei einer Wellenlänge von 578 nm und 2 cm Schichtdicke die Extinktion gegen den Reagenzblindwert gemessen werden. Zur Feststellung des Blindwertes dienten angesetzte Proben aus 0,1 ml einer 100 µg P/ml Phosphatlösung mit 0,2 ml eines Gemisches aus HClO₄ und Tri-Natriumcitrat-2-hydrat sowie 0,5 ml Veraschungsgemisch, deren Extinktion bei 0,400 liegen sollte.

Der an das Photometer angeschlossene Rechner (TEWS Elektronik RD-3P) druckte den Phosphatgehalt nach Einprogrammierung der aus der Eichkurve erhaltenen Konstanten aus. Dabei wurden zur Minimierung der Fehlerquote für jede Probe 3 Werte gemessen.

c) Berechnungen

Anhand der Messungen wurden sowohl die Fluoridmenge in 5 ml Lösung als auch die Phosphatmenge in 5 ml Lösung bestimmt. Nach *Armstrong und Brekhuis* (1937) sowie *Jenkins* (1978) ist dem Schmelz ein Phosphatgehalt von 17,45% zugrunde zu legen. Somit war es möglich, von der gemessenen Phosphatmenge PM auf die zugehörige Schmelzmenge SM zu schließen:

$$SM = \frac{PM \times 100}{17,45}$$

Aus der berechneten Schmelzmenge SM und der gemessenen Fluoridmenge FM ließ sich der Fluoridgehalt F in parts per million des Schmelzes folgendermaßen bestimmen:

$$F = \frac{FM \times 10^6}{SM}$$

Durch Einsetzen der Gleichung zur Errechnung von SM in letztgenannte Gleichung ließ sich der Fluoridgehalt F in ppm direkt aus der gemessenen Phosphatmenge PM berechnen:

$$F = \frac{FM \times 17,45 \times 10^6}{PM \times 100}$$

3.3. Statistik

Zur statistischen Auswertung wurden die Mittelwerte, welche sich aus den Messwerten der einzelnen Untersuchungsgruppen ergaben, auf signifikante Differenzen untersucht. Hierzu wurde das Statistikprogramm Statview (Abacus Concepts, C-Berkeley) verwendet. Zur Bestätigung signifikanter Unterschiede musste ein Signifikanzniveau von $\alpha=0,05$ unterschritten werden.

Für jede der 4 Gruppen wurden zu jedem Messintervall (Tag 1 bis Tag 28, insgesamt 7 Tage) die Mittelwerte errechnet. Für den Fluoridgehalt der Schmelzproben und deren Ätztiefe wurden ebenfalls die Mittelwerte berechnet. Die statistischen Vergleiche der freigesetzten Fluoridmengen beziehen sich auf die Proben ohne benachbarten Zahnschmelz. Die mit benachbartem Schmelz ermittelten Ergebnisse wurden statistisch gesondert überprüft.

Statistische Vergleiche der fluoridierten gegenüber den nicht fluoridierten Proben wurden für jeden der 7 Untersuchungstage mit dem Kruskal-Wallis-Test berechnet. Dieser Test ist parameterfrei. Parameterfreie Tests prüfen Hypothesen über Daten, für die eine zugrunde liegende Verteilung nicht bekannt ist. Der Test basiert auf einer Rangfolge der Einzelmesswerte, um aufzuzeigen, ob eine Gruppe größere Rangwerte hat. Die Auswertung erfolgte auf die Gesamtdaten bezogen, also auf alle Untersuchungsgruppen. Der Kruskal-Wallis-Test prüft die Hypothese, ob zwei oder mehr Gruppen die gleiche Verteilung aufweisen gegen die Alternative, dass wenigstens eine dieser Gruppen eine andere Verteilung aufweist.

Zur weiteren statistischen Auswertung wurde der Mann-Whitney-Test herangezogen. Dieser Test erfolgt, um jeweils zwei bestimmte Gruppen miteinander zu vergleichen, mit der Fragestellung, ob sich die zugrunde liegenden Messreihen signifikant voneinander unterscheiden. Der Mann-Whitney-Test ist ein nicht parametrischer Test zum Vergleich zweier unverbundener Stichproben quantitativer Merkmale. Die Prüfgröße des Testes wird aus den Rangzahlen der Stichproben berechnet. Dieser Test prüft die Hypothese, dass die Verteilung zweier Gruppen sich gleich verhält. Mit dem Mann-Whitney-Test wurde der Einfluss der einzelnen Aufbewahrungsmedien gegeneinander an den verschiedenen Messtagen, getrennt nach fluoridierter und nicht fluoridierter Gruppe untersucht. Ebenfalls

mit dem Mann-Whitney-Test wurden die Ergebnisse der fluoridierten gegen die nicht fluoridierten Proben innerhalb eines Mediums sowie die Differenz des Fluoridgehaltes der Schmelzplättchen der fluoridierten und nicht fluoridierten Untergruppen und der beiden verschiedenen Lagerungsmedien gegeneinander verglichen.

Mit dem Wilcoxon-Test für verbundene Stichproben wurde die statistische Signifikanz der Ätztiefen und des Fluoridgehaltes der Schmelzplättchen (Proben und Kontrollen) getrennt nach Lagerungsmedien und Fluoridierungsmaßnahmen untersucht.

Die folgenden Tabellen fassen die mittels Mann-Whitney-Test durchgeführten statistischen Vergleiche zusammen.

Tabelle 3: Mann-Whitney-Test zum Vergleich der einzelnen Gruppen gegeneinander, getrennt nach fluoridierter und nicht fluoridierter Gruppe für die 7 Untersuchungstage

	Gruppe B	Gruppe C	Gruppe D
Gruppe A	1., 2., 4., 8., 14., 21., 28. Messtag	1., 2., 4., 8., 14., 21., 28. Messtag	1., 2., 4., 8., 14., 21., 28. Messtag
Gruppe B		1., 2., 4., 8., 14., 21., 28. Messtag	1., 2., 4., 8., 14., 21., 28. Messtag
Gruppe C			1., 2., 4., 8., 14., 21., 28. Messtag

Tabelle 4: Mann-Whitney-Test zur Überprüfung des Effektes der täglichen Fluoridierung, getrennt nach Gruppen für jeden der 7 Untersuchungstage

Gruppe A - fluoridiert	Gruppe A - nicht fluoridiert	1., 2., 4., 8., 14., 21., 28. Messtag
Gruppe B – fluoridiert	Gruppe B – nicht fluoridiert	1., 2., 4., 8., 14., 21., 28. Messtag
Gruppe C – fluoridiert	Gruppe C – nicht fluoridiert	1., 2., 4., 8., 14., 21., 28. Messtag
Gruppe D – fluoridiert	Gruppe D – nicht fluoridiert	1., 2., 4., 8., 14., 21., 28. Messtag

Tabelle 5: Mann-Whitney-Test zum Vergleich des Fluoridgehaltes der Schmelzplättchen der Gruppen A und D nach 28 Untersuchungstagen

Gruppe A – fluoridiert	Gruppe A – nicht fluoridiert	statistische Auswertung
Gruppe D – fluoridiert	Gruppe D – nicht fluoridiert	statistische Auswertung
Gruppe A – fluoridiert	Gruppe D – fluoridiert	statistische Auswertung
Gruppe A – nicht fluoridiert	Gruppe D – nicht fluoridiert	statistische Auswertung

Der Mann-Whitney-Test wurde ebenfalls verwandt, um die Mittelwerte der Materialproben ohne benachbarte Schmelzplättchen und mit benachbarten Schmelzplättchen innerhalb der Gruppen A und D auf signifikante Differenzen zu überprüfen. Auch hierbei wurde getrennt für fluoridierte und nicht fluoridierte Proben ausgewertet. Tabelle 6 zeigt in einer Übersicht die statistische Auswertung in Gruppe A. Die Auswertung der Mittelwerte der Gruppe D erfolgte analog der unten aufgeführten Tabelle.

Tabelle 6: Mann-Whitney-Test zum Vergleich der Mittelwerte der Materialproben mit und ohne Schmelzplättchen innerhalb einer Gruppe

Gruppe A	nicht fluoridiert mit Schmelzplättchen	fluoridiert mit Schmelzplättchen
nicht fluoridiert ohne Schmelzplättchen	statistische Auswertung	statistische Auswertung
fluoridiert ohne Schmelzplättchen		

4. Ergebnisse

Bei einem Teil der Glasionomerzementproben wird nicht nur der Effekt der Lagerung in verschiedenen Medien sowie der einer regelmäßigen Fluoridierung überprüft, sondern darüber hinaus ist mit Schmelzproben ein weiterer Parameter vorhanden, welcher möglicherweise den Fluoridgehalt im Lagermedium beeinflussen kann. Dieses betrifft Teile der Gruppen A und D. Bislang ist nicht bekannt, ob hieraus messbare und statistisch signifikante Effekte erwachsen. Da sich hieraus jedoch unmittelbare Konsequenzen für die weitere statistische Behandlung der Messdaten ergeben können, soll zunächst untersucht werden, ob sich unter gleichen Lagerungsbedingungen und gleicher Fluoridapplikation die Gegenwart einer Schmelzprobe signifikant auf den Fluoridgehalt des Lagerungsmediums auswirkt.

Hierzu fassen die Tabellen 7 und 8 die entsprechenden Daten von Gruppe A und Gruppe D zusammen. Es wird bereits hier deutlich, dass unter Einfluss eines Pellikel und von Speichelionen deutlich geringere Fluoridmengen im Medium zu bestimmen sind (Vergleich A – D). Es wird ferner deutlich, dass unter regelmäßiger Fluoridierung höhere Fluoridmengen als ohne diese Maßnahme zu messen sind (Vergleich „ohne Fluoridierung“ – „mit Fluoridierung“). Schließlich wird jedoch auch erkennbar, dass unter bestimmten Bedingungen in Gegenwart von Zahnschmelz weniger Fluorid im Medium bestimmbar ist als ohne die Anwesenheit von Schmelz. Dies gilt durchweg für Gruppe A ohne Fluoridierung sowie für einige Messzeitpunkte in Gruppe D.

Tabelle 7: In Gruppe A im Lagerungsmedium nachweisbare Fluoridmengen ($\mu\text{g}/\text{cm}_2$ Zementoberfläche) mit und ohne benachbarte Schmelzproben (Mittelwert und Standardabweichung, jeweils $n = 6$)

Zeitpunkt nach Beginn der Lagerung	Gruppe A ohne Fluoridierung		Gruppe A mit Fluoridierung	
	ohne Schmelz	mit Schmelz	ohne Schmelz	mit Schmelz
24 Std.	56,6 $\pm$ 18,8	47,0 $\pm$ 12,6	43,8 $\pm$ 8,8	49,4 $\pm$ 8,6
2 Tage	36,7 $\pm$ 13,7	17,3 * $\pm$ 5,2	27,4 $\pm$ 6,5	26,9 $\pm$ 5,8
4 Tage	18,7 $\pm$ 6,7	8,9 * $\pm$ 3,4	25,2 $\pm$ 5,6	23,6 $\pm$ 6,5
8 Tage	9,0 $\pm$ 1,8	5,6 ** $\pm$ 1,1	17,8 $\pm$ 5,8	17,5 $\pm$ 3,5
14 Tage	6,8 $\pm$ 0,9	4,0 ** $\pm$ 1,1	14,8 $\pm$ 3,6	15,1 $\pm$ 1,9
21 Tage	4,6 $\pm$ 0,9	2,9 ** $\pm$ 0,6	14,0 $\pm$ 3,2	13,6 $\pm$ 1,3
28 Tage	3,3 $\pm$ 0,6	2,1 * $\pm$ 0,6	13,0 $\pm$ 3,0	12,2 $\pm$ 1,7

*: Die Ergebnisse zwischen den Untergruppen ohne bzw. mit benachbartem Schmelz unterscheiden sich signifikant, $p < 0,05$; **: $p < 0,01$ (Mann-Whitney-Test)

Tabelle 8: In Gruppe D im Lagerungsmedium nachweisbare Fluoridmengen ($\mu\text{g}/\text{cm}_2$ Zementoberfläche) mit und ohne benachbarte Schmelzproben (Mittelwert und Standardabweichung, jeweils $n = 6$)

Zeitpunkt nach Beginn der Lagerung	Gruppe D ohne Fluoridierung		Gruppe D mit Fluoridierung	
	ohne Schmelz	mit Schmelz	ohne Schmelz	mit Schmelz
24 Std.	16,7 $\pm$ 2,7	28,4 * $\pm$ 7,8	13,6 $\pm$ 3,1	24,6 * $\pm$ 7,5
2 Tage	6,8 $\pm$ 1,4	6,8 $\pm$ 2,2	10,4 $\pm$ 2,3	8,8 $\pm$ 1,1
4 Tage	4,8 $\pm$ 0,8	3,9 $\pm$ 1,3	8,0 $\pm$ 1,8	5,8 $\pm$ 0,8
8 Tage	2,3 $\pm$ 0,4	2,0 $\pm$ 0,8	6,6 $\pm$ 1,9	4,6 $\pm$ 0,9
14 Tage	1,8 $\pm$ 0,3	1,2 * $\pm$ 0,5	5,3 $\pm$ 1,5	3,5 * $\pm$ 1,2
21 Tage	1,4 $\pm$ 0,3	0,8 * $\pm$ 0,4	4,2 $\pm$ 1,0	2,6 * $\pm$ 1,1
28 Tage	0,4 $\pm$ 0,2	0,6 $\pm$ 0,5	3,0 $\pm$ 1,0	1,6 * $\pm$ 0,7

*: Die Ergebnisse zwischen den Untergruppen ohne bzw. mit benachbartem Schmelz unterscheiden sich signifikant, $p < 0,05$; **: $p < 0,01$ (Mann-Whitney-Test)

Aufgrund dieses signifikanten Einflusses kann die vergleichende Betrachtung des Einflusses aller Lagerungsbedingungen nur die Materialproben ohne benachbarte Schmelzabschnitte umfassen. Dies ist bei den folgenden Darstellungen berücksichtigt, welche sich auf die vier Lagerungsgruppen mit jeweils 12 Proben ohne Gegenwart von Schmelz beziehen.

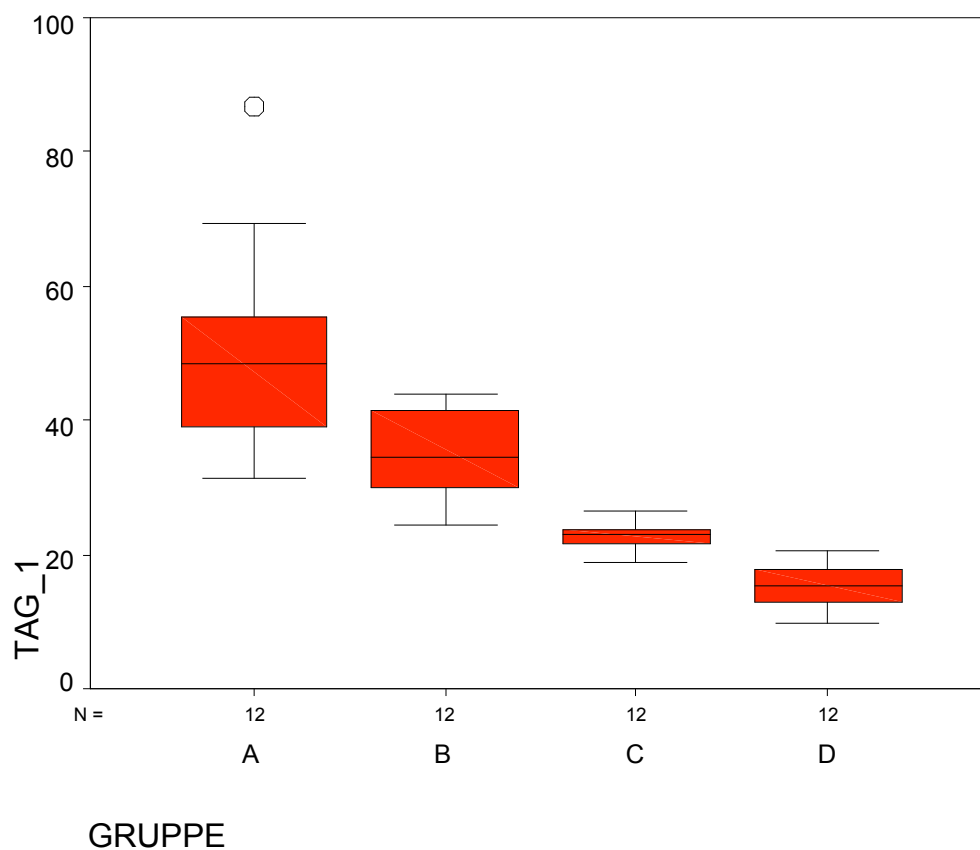
In Tabelle 9 sind die bei dieser Messung bestimmten Mengen freigesetzten Fluorids für alle Gruppen und alle Messzeitpunkte zusammengefasst. Die größte Fluoridfreisetzung erfolgte in allen Untersuchungsgruppen innerhalb der ersten 24 Stunden. Anschließend ist in allen Lagerungsmedien ein starker Rückgang der im Medium bestimmbaren Fluoridmenge zu erkennen. Dabei bestehen deutliche Unterschiede zwischen den Untersuchungsgruppen. Die größte Fluoridmenge wurde von den Proben abgegeben, die in Aqua bidest. gelagert wurden. Sowohl bei den fluoridierten als auch bei den nicht fluoridierten Proben lagen die Mittelwerte immer über den Mittelwerten der anderen Gruppen. Die Fluoridfreisetzung der Gruppe D war sowohl bei den fluoridierten als auch bei den nicht fluoridierten Proben am niedrigsten, unterschied sich ab Tag 4 dabei allerdings nur geringfügig von der Freisetzung in Gruppe C.

Tabelle 9: In verschiedenen Lagerungsmedien aus Glasionomierzementproben freigesetzte Fluoridmengen ($\mu\text{g}/\text{cm}_2$) mit und ohne Fluoridapplikation (Mittelwert und Standardabweichung, jeweils $n = 6$)

Zeitpunkt nach Beginn der Lagerung	Gruppe A		Gruppe B		Gruppe C		Gruppe D	
	fluoridiert	nicht fluoridiert	fluoridiert	nicht fluoridiert	fluoridiert	nicht fluoridiert	fluoridiert	nicht fluoridiert
24 Std.	43,8 $\pm$ 8,8	56,6 $\pm$ 18,8	36,5 $\pm$ 5,8	34,2 $\pm$ 7,6	23,0 $\pm$ 1,1	22,2 $\pm$ 3,0	13,6 $\pm$ 3,1	16,7 $\pm$ 2,7
2 Tage	27,4 $\pm$ 6,5	36,7 $\pm$ 13,7	27,1 $\pm$ 5,3	18,9 $\pm$ 4,7	14,4 $\pm$ 6,3	8,3 $\pm$ 1,5	10,4 $\pm$ 2,3	6,8 $\pm$ 1,4
4 Tage	25,2 $\pm$ 5,6	18,7 $\pm$ 6,7	17,7 $\pm$ 2,8	11,1 $\pm$ 1,8	7,6 $\pm$ 1,7	4,7 $\pm$ 1,6	8,0 $\pm$ 1,8	4,8 $\pm$ 0,8
8 Tage	17,8 $\pm$ 5,8	9,0 $\pm$ 1,8	14,5 $\pm$ 1,9	5,9 $\pm$ 0,6	6,3 $\pm$ 1,1	2,7 $\pm$ 0,6	6,6 $\pm$ 1,9	2,3 $\pm$ 0,4
14 Tage	14,8 $\pm$ 3,6	6,8 $\pm$ 0,9	13,1 $\pm$ 3,5	5,5 $\pm$ 0,4	5,0 $\pm$ 0,6	1,7 $\pm$ 0,5	5,3 $\pm$ 1,5	1,8 $\pm$ 0,3
21 Tage	14,0 $\pm$ 3,2	4,6 $\pm$ 0,9	9,6 $\pm$ 1,1	3,0 $\pm$ 0,6	4,2 $\pm$ 0,7	1,1 $\pm$ 0,3	4,2 $\pm$ 1,0	1,4 $\pm$ 0,3
28 Tage	13,0 $\pm$ 3,0	3,3 $\pm$ 0,6	8,4 $\pm$ 1,2	1,9 $\pm$ 0,2	3,8 $\pm$ 0,8	1,0 $\pm$ 0,3	3,0 $\pm$ 1,0	0,4 $\pm$ 0,2

Zum Zeitpunkt der ersten Messung (nach 24-stündiger Lagerung in den unterschiedlichen Medien) war noch keine der Proben mit der NaF-Lösung fluoridiert worden. Daher können die in der Tabelle in der ersten Zeile wiedergegebenen Werte auch zusammengefasst werden. Eine entsprechende Zusammenfassung ist in Abbildung 2 als Boxplot dargestellt.

Abbildung 2: Boxplot-Darstellung der nach einem Tag aus den verschiedenen Untersuchungsgruppen freigesetzten Fluoridmengen



Die Proben der Gruppe A (Lagerung in Aqua bidest.) setzten nach einem Tag $50,2 \pm 15,5$ $\mu\text{g/cm}_2$ Fluorid frei. Aus den Proben der Gruppe B (Lagerung in Aqua bidest. mit Pellikel) wurden $35,4 \pm 6,6$ $\mu\text{g/cm}_2$ und aus den Proben der Gruppe C (Lagerung in künstlichem Speichel) $22,6 \pm 2,2$ $\mu\text{g/cm}_2$ Fluorid freigesetzt. Die Proben der Gruppe D (Lagerung in künstlichem Speichel mit Pellikel) setzten $15,1 \pm 3,2$ $\mu\text{g/cm}_2$ Fluorid frei. Der Kruskal-Wallis-Test zeigt, dass zwischen den freigesetzten Fluoridmengen signifikante Unterschiede bestehen ($p \leq 0,001$). Paarweise Vergleiche zwischen den in den

verschiedenen Gruppen freigesetzten Fluoridmengen weisen eine signifikante Verminderung in Gruppe B (unter dem Einfluss des Pellikels) im Vergleich zu Gruppe A nach (Mann-Whitney-Test, $p = 0,007$). Hochsignifikante Unterschiede ($p \leq 0,001$, Tabelle 10) bestehen bei allen übrigen Vergleichen von jeweils zwei Gruppen.

Tabelle 10: Irrtumswahrscheinlichkeiten p zum paarweisen Vergleich der Fluoridfreisetzung unter verschiedenen Lagerungsbedingungen am 1. Messtag (Mann-Whitney-Test)

	Gruppe B	Gruppe C	Gruppe D
Gruppe A	0,007	$\leq 0,001$	$\leq 0,001$
Gruppe B		$\leq 0,001$	$\leq 0,001$
Gruppe C			$\leq 0,001$

In Tabellen 11 und 12 sind die Ergebnisse der statistischen Vergleiche für die Teilgruppen, welche nach Ablauf des ersten Tages fluoridiert wurden bzw. nicht fluoridiert wurden, getrennt dargestellt, um der Betrachtungsweise der folgenden Messtage zu entsprechen. Es wird bestätigt, dass zwischen den Gruppen A und B nach Tag 1 die geringsten Unterschiede zu bestimmen sind. Alle anderen Vergleiche zeigen durchweg auf dem 1%-Niveau signifikant differierende Messergebnisse.

Tabelle 11: Irrtumswahrscheinlichkeiten p zum paarweisen Vergleich der Fluoridfreisetzung der nicht fluoridierten Teilgruppen unter verschiedenen Lagerungsbedingungen am 1. Messtag (Mann-Whitney-Test)

	Gruppe B	Gruppe C	Gruppe D
Gruppe A	0,172	0,004	0,004
Gruppe B		0,004	0,004
Gruppe C			0,004

Tabelle 12: Irrtumswahrscheinlichkeiten p zum paarweisen Vergleich der Fluoridfreisetzung der fluoridierten Teilgruppen unter verschiedenen Lagerungsbedingungen am 1. Messtag (Mann-Whitney-Test)

	Gruppe B	Gruppe C	Gruppe D
Gruppe A	0,020	0,004	0,004
Gruppe B		0,006	0,004
Gruppe C			0,013

Die weiteren Betrachtungen differenzieren zwischen Materialproben, welche regelmäßig fluoridiert wurden, und nicht fluoridierten Proben. Zunächst seien die Ergebnisse für die nicht fluoridierten Proben erläutert. Die Mittelwerte sind Tabelle 9 zu entnehmen. Es konnten über den gesamten Untersuchungszeitraum qualitativ gleiche Unterschiede bezüglich der Fluoridfreisetzung zwischen den Gruppen beobachtet werden. Der Kruskal-Wallis-Test bestätigt mit einem p-Wert von jeweils $< 0,001$, dass die bestimmten Fluoridmengen zu jedem Bestimmungszeitpunkt signifikant unterschiedlich sind.

Paarweise statistische Vergleiche zwischen den Gruppen belegen im Vergleich der Gruppen A und C, A und D, B und C und B und D an jedem Messtag statistisch signifikante Unterschiede (Mann-Whitney-Test). In Tabelle 13 sind die jeweiligen p-Werte und Mittelwerte für den 2., 4., 8., 14., 21. und 28. Messtag aufgeführt. Auch im Vergleich der Gruppen A und B konnten durchweg statistisch signifikante Differenzen beobachtet werden. Zwischen Gruppe C und D hingegen unterschied sich die Fluoridfreisetzung nur am 21. und 28. Tag mit statistischer Signifikanz, und dies bei jeweils nur sehr geringen Fluoridmengen.

Tabelle 13: Mittelwerte der Fluoridfreisetzung ($\mu\text{g}/\text{cm}_2$) und Irrtumswahrscheinlichkeiten paarweiser Vergleiche (Mann-Whitney-Test) nicht fluoridierter Proben in unterschiedlichen Lagerungsmedien

Vergleich der Gruppen	Messtage					
	2	4	8	14	21	28
Gruppe A zu Gruppe B p	A: 36,7 B: 18,9 0,025	A: 18,7 B: 11,1 0,078	A: 9,0 B: 5,9 0,008	A: 6,8 B: 5,5 0,015	A: 4,6 B: 3,0 0,005	A: 3,3 B: 1,9 0,004
Gruppe A zu Gruppe C p	A: 36,7 C: 8,3 0,004	A: 18,7 C: 4,7 0,004	A: 9,0 C: 2,7 0,004	A: 6,8 C: 1,7 0,004	A: 4,6 C: 1,1 0,004	A: 3,3 C: 1,0 0,004
Gruppe A zu Gruppe D p	A: 36,7 D: 6,8 0,004	A: 18,7 D: 4,8 0,004	A: 9,0 D: 2,3 0,004	A: 6,8 D: 1,8 0,004	A: 4,6 D: 1,4 0,004	A: 3,3 D: 0,4 0,004
Gruppe B zu Gruppe C p	B: 18,9 C: 8,3 0,004	B: 11,1 C: 4,7 0,004	B: 5,9 C: 2,7 0,004	B: 5,5 C: 1,7 0,004	B: 3,0 C: 1,1 0,004	B: 1,9 C: 1,0 0,006
Gruppe B zu Gruppe D p	B: 18,9 D: 6,8 0,004	B: 11,1 D: 4,8 0,004	B: 5,9 D: 2,3 0,004	B: 5,5 D: 1,8 0,004	B: 3,0 D: 1,4 0,004	B: 1,9 D: 0,4 0,003
Gruppe C zu Gruppe D p	C: 8,3 D: 6,8 0,109	C: 4,7 D: 4,8 0,373	C: 2,7 D: 2,3 0,172	C: 1,7 D: 1,8 0,803	C: 1,1 D: 1,4 0,049	C: 1,0 D: 0,4 0,005

Tabelle 14 enthält die Mittelwerte der Fluoridbestimmung mitsamt paarweisen, parameterfreien statistischen Vergleichen für diejenigen Proben, welche täglich fluoridiert (1250 ppm NaF-Lösung, 3 Minuten) und dann wiederum in den verschiedenen Lagerungsmedien gelagert wurden. Im Gegensatz zu den nicht fluoridierten Proben verlief der Rückgang der Fluoridfreisetzung bei den täglich fluoridierten Proben verlangsamt. Die Freisetzung in den verschiedenen Gruppen war signifikant unterschiedlich (Kruskal-Wallis-Test: p jeweils $\leq 0,001$). Paarweise Vergleiche (Mann-Whitney-Test) weisen zwischen den Gruppen A und C, A und D, B und C sowie B und D zu jedem Zeitpunkt der Untersuchung statistisch signifikante Unterschiede nach. Zwischen Gruppe A und B konnten am 2., 8. und 14. Untersuchungstag keine statistisch signifikanten Unterschiede festgestellt werden. Zwischen Gruppe C und D hingegen waren zu keinem Messzeitpunkt signifikant unterschiedliche Ergebnisse feststellbar.

Tabelle 14: Mittelwerte der Fluoridfreisetzung ($\mu\text{g}/\text{cm}_2$) und Irrtumswahrscheinlichkeiten paarweiser Vergleiche (Mann-Whitney-Test) täglich fluoridierter Proben in unterschiedlichen Lagerungsmedien

Vergleich der Gruppen	Messtage					
	2	4	8	14	21	28
Gruppe A zu Gruppe B p	A: 27,4 B: 27,1 > 0,99	A: 25,2 B: 17,7 0,020	A: 17,8 B: 14,5 0,470	A: 14,8 B: 13,1 0,423	A: 14,0 B: 9,6 0,005	A: 13,0 B: 8,4 0,004
Gruppe A zu Gruppe C p	A: 27,4 C: 14,4 0,010	A: 25,2 C: 7,6 0,004	A: 17,8 C: 6,3 0,004	A: 14,8 C: 5,0 0,004	A: 14,0 C: 4,2 0,004	A: 13,0 C: 3,8 0,004
Gruppe A zu Gruppe D p	A: 27,4 D: 10,4 0,004	A: 25,2 D: 8,0 0,004	A: 17,8 D: 6,6 0,004	A: 14,8 D: 5,3 0,004	A: 14,0 D: 4,2 0,004	A: 13,0 D: 3,0 0,004
Gruppe B zu Gruppe C p	B: 27,1 C: 14,4 0,010	B: 17,7 C: 7,6 0,004	B: 14,5 C: 6,3 0,004	B: 13,1 C: 5,0 0,004	B: 9,6 C: 4,2 0,004	B: 8,4 C: 3,8 0,004
Gruppe B zu Gruppe D p	B: 27,1 D: 10,4 0,004	B: 17,7 D: 8,0 0,004	B: 14,5 D: 6,6 0,004	B: 13,1 D: 5,3 0,004	B: 9,6 D: 4,2 0,004	B: 8,4 D: 3,0 0,004
Gruppe C zu Gruppe D p	C: 14,4 D: 10,4 0,229	C: 7,6 D: 8,0 0,630	C: 6,3 D: 6,6 0,748	C: 5,0 D: 5,3 0,574	C: 4,2 D: 4,2 > 0,99	C: 3,8 D: 3,0 0,171

In den Abbildungen 3 und 4 sind die Ergebnisse für die vier Gruppen mit bzw. ohne Fluoridapplikation im Verlauf der vierwöchigen Beobachtungsdauer grafisch dargestellt. Es ist deutlich zu erkennen, dass der initial hohen Fluoridabgabe innerhalb der ersten 24 Stunden jeweils ein deutlicher Abfall der freigesetzten Fluoridmengen folgt und dass sich die Freisetzung, unabhängig vom umgebenden Medium oder täglicher Fluoridierung, nach etwa 8 Tagen nur noch geringfügig verändert.

Abb. 3: Fluoridfreisetzung aus nicht fluoridierten Proben

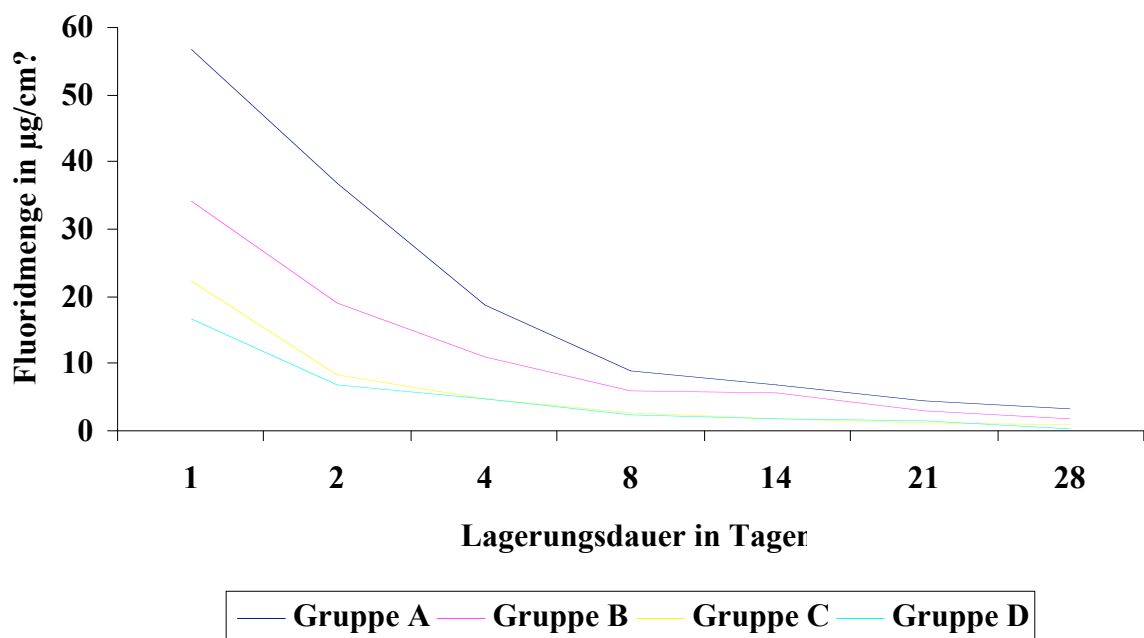
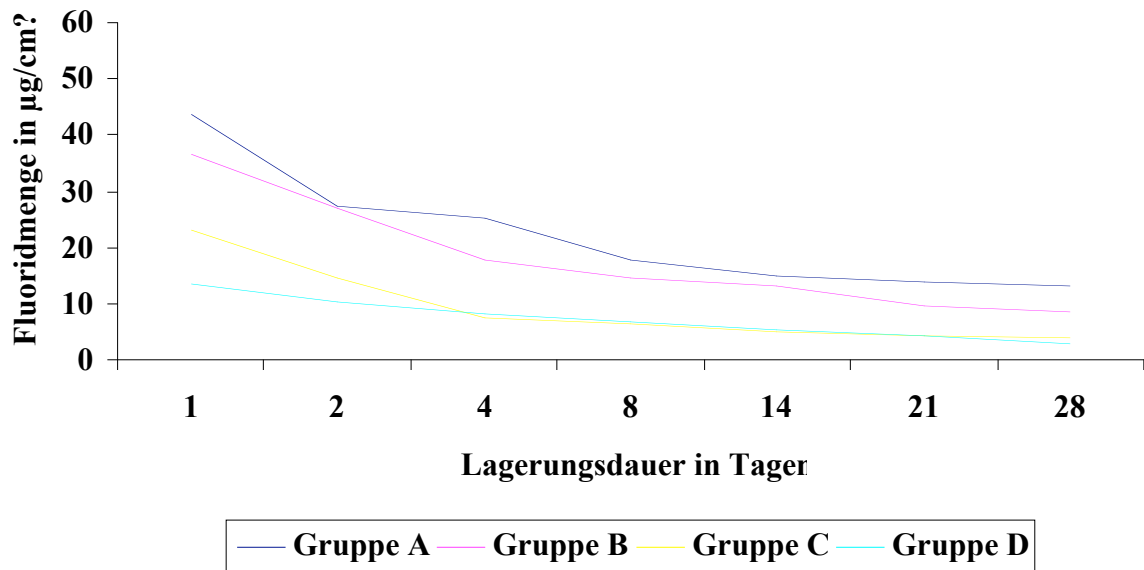


Abb. 4: Fluoridfreisetzung aus fluoridierten Proben



In einem weiteren Vergleich soll die Fluoridfreisetzung aus den fluoridierten und den nicht fluoridierten Proben für jeden Untersuchungstag betrachtet werden. In den Abbildungen 5 - 8 sind die unter den verschiedenen Lagerungsbedingungen aus dem Glasionomerzement freigesetzten Fluoridmengen mit und ohne Einfluss einer Fluoridapplikation dargestellt. Es ist, abgesehen von Tag 2 bei Gruppe A, bei den Proben, die täglich für 3 Minuten mit einer 1250 ppm NaF-Lösung gespült wurden, deutlich mehr Fluorid freigesetzt worden als bei den nicht fluoridierten Proben.

Abb. 5: Fluoridfreisetzung bei Gruppe A - Lagerung in Aqua bidest.

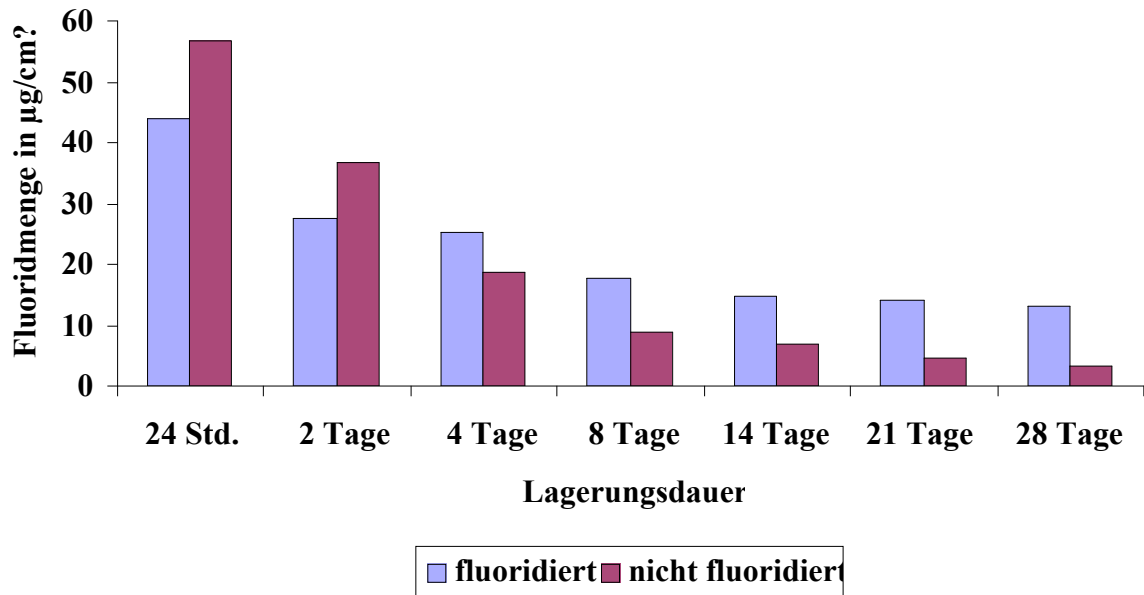


Abb. 6: Fluoridfreisetzung bei Gruppe B - Lagerung in Aqua bidest. mit Pellikel

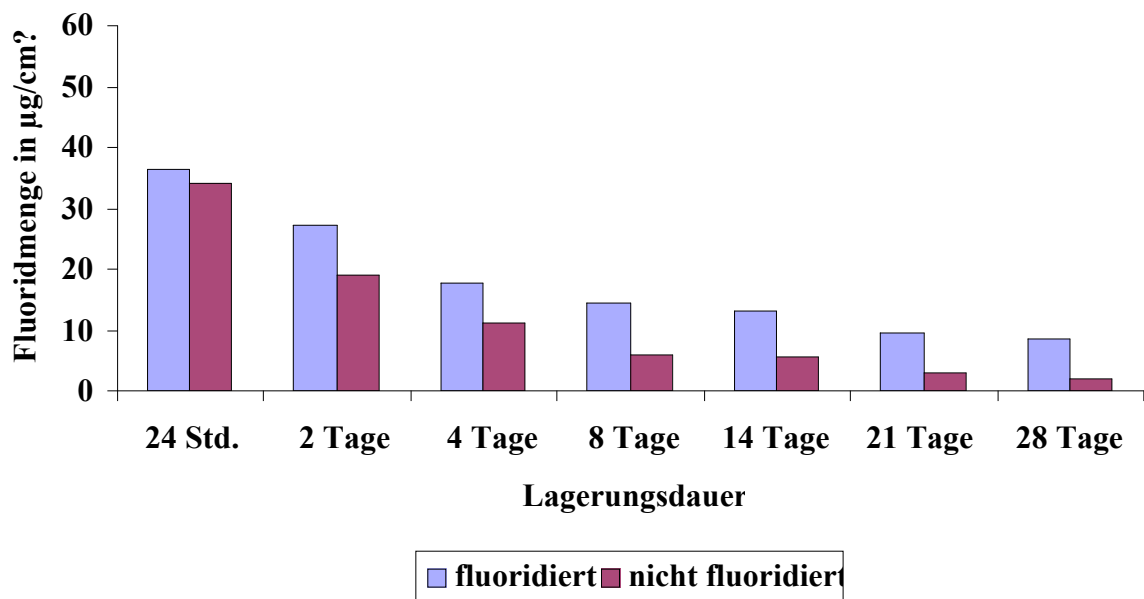


Abb. 7: Fluoridfreisetzung bei Gruppe C - Lagerung in künstlichem Speichel

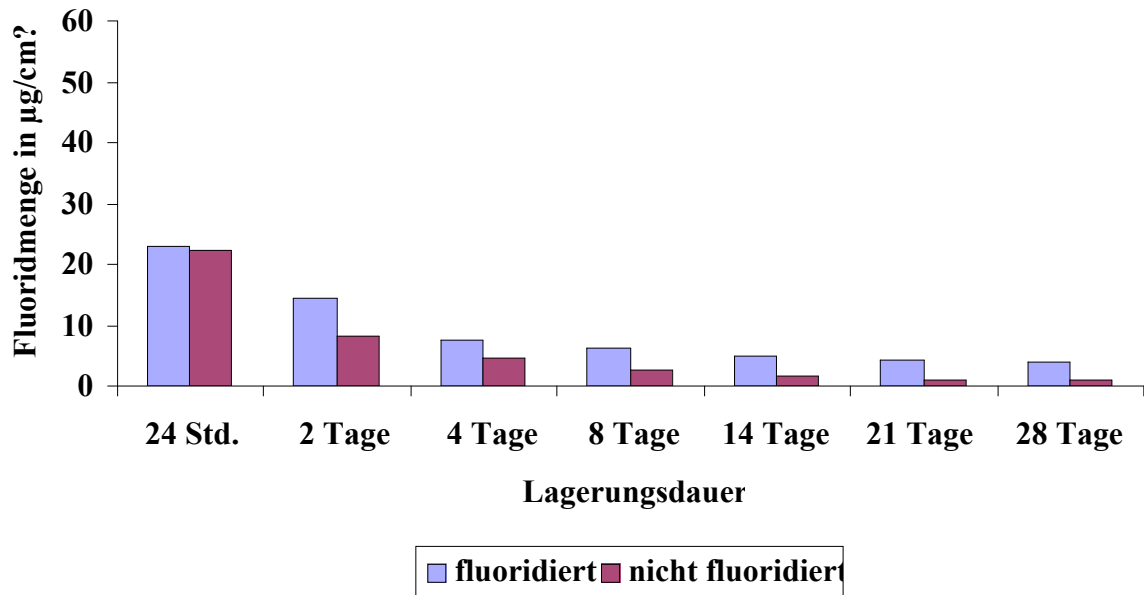
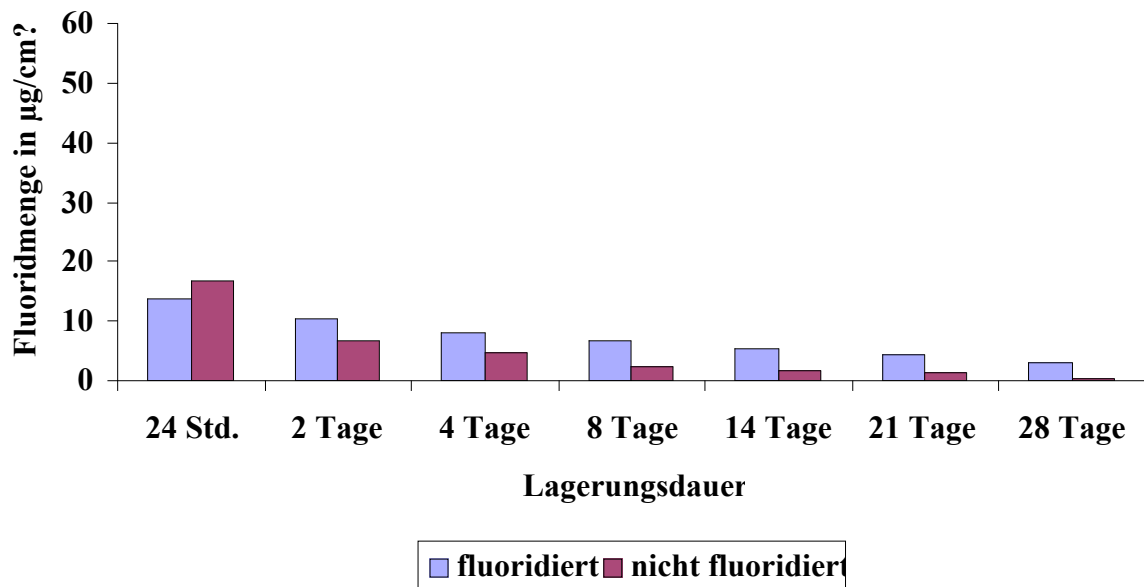


Abb. 8: Fluoridfreisetzung bei Gruppe D - Lagerung in künstlichem Speichel mit Pellikel



Dabei ergaben sich für die Proben der Gruppe A statistisch signifikante Unterschiede ab dem 8. Untersuchungstag. Für die Gruppen B, C und D ergaben sich bereits ab dem 2. Untersuchungstag, also nach nur einmaliger Fluoridierung, statistisch signifikante Unterschiede der Fluoridfreisetzung.

Tabelle 15: Irrtumswahrscheinlichkeiten p zum statistischen Vergleich der Fluoridabgabe aus fluoridierten und nicht fluoridierten Proben (Mann-Whitney-Test)

Zeitpunkt nach Beginn der Lagerung	Gruppe A p	Gruppe B p	Gruppe C p	Gruppe D p
(24 Std. *)	0,200	0,574	0,575	0,109)
2 Tage	0,199	0,025	0,037	0,030
4 Tage	0,109	0,004	0,016	0,008
8 Tage	0,004	0,004	0,004	0,004
14 Tage	0,004	0,004	0,004	0,004
21 Tage	0,004	0,004	0,004	0,004
28 Tage	0,004	0,004	0,004	0,004

*: Zu diesem Zeitpunkt war noch keine Fluoridierung erfolgt

Zur Illustration der unterschiedlichen in den Medien bestimmten Fluoridmengen sind die Gesamtfluoridmengen, die bei jeder der fluoridierten oder nicht fluoridierten Gruppen während des Untersuchungszeitraumes gemessen wurden, in der nachfolgenden Tabelle 16 zusammengefasst. Die Gesamtmenge berechnet sich hierbei durch Addition der an den 7 Messtagen bestimmten Fluoridmengen.

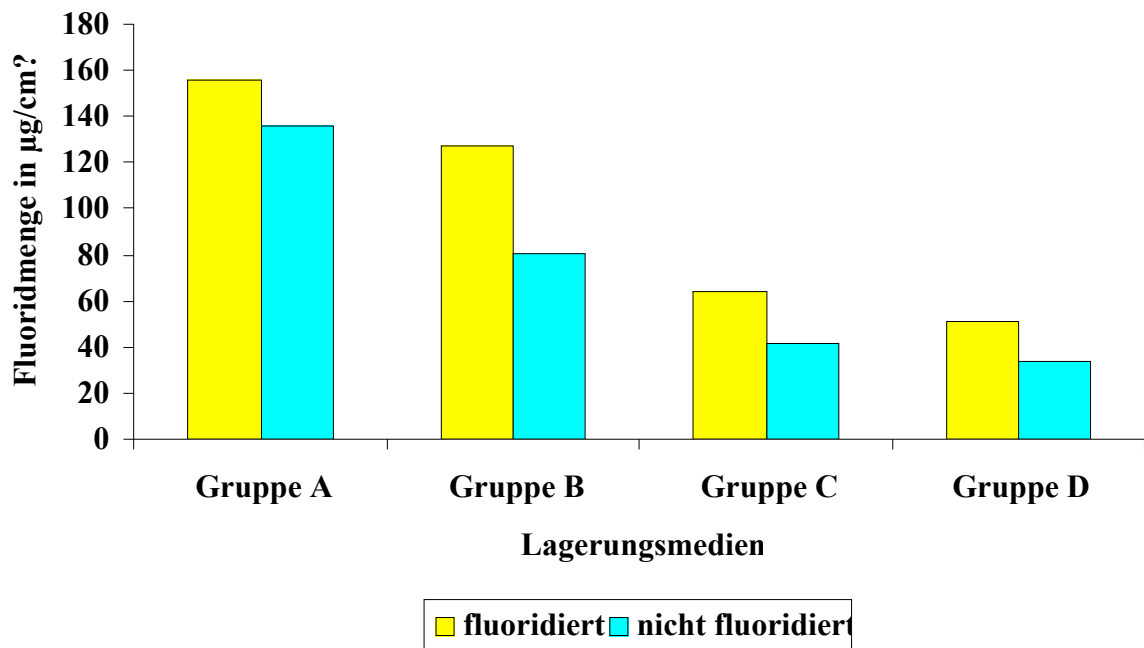
Tabelle 16: Gesamtmenge des freigesetzten Fluorids in $\mu\text{g}/\text{cm}_2$ (Addition der Messergebnisse der 7 Messtage)

	Gruppe A	Gruppe B	Gruppe C	Gruppe D
nicht fluoridiert	135,8 $\pm$ 41,1	80,5 $\pm$ 12,8	41,6 $\pm$ 3,5	34,1 $\pm$ 4,5
fluoridiert	155,9 $\pm$ 28,2	127,0 $\pm$ 14,1 **	64,3 $\pm$ 9,3 **	51,0 $\pm$ 9,4 *

Statistischer Vergleich (Mann-Whitney-Test): * $p < 0,01$ ** $p < 0,05$

Ersichtlich wird auch hier, dass in den Gruppen mit künstlichem Speichel (Gruppen C und D) deutlich weniger Fluorid freigesetzt wurde, als in den Gruppen mit Lagerung in Aqua bidest.. Abbildung 9 verdeutlicht diesen Sachverhalt.

Abb. 9: Gesamtmenge an freigesetztem Fluorid in $\mu\text{g}/\text{cm}^2$



Für den zweiten Teil der Untersuchung waren in den Gruppen A und D bei jeweils der Hälfte der Materialproben Schmelzplättchen in geringer Entfernung zum Füllungsmaterial befestigt. Es wurde bereits gezeigt, dass eine Differenz des Fluoridgehaltes der Lagerungsmedien mit und ohne benachbarte Schmelzplättchen bestand. Es sollte jedoch nicht nur die freigesetzte Fluoridmenge, sondern auch die Fluoridaufnahme im Zahnschmelz ermittelt werden. Tabelle 17 enthält die im Oberflächenschmelz bestimmten Fluoridkonzentrationen. Es sind die Fluoridgehalte der jeweiligen nicht in das Lagerungsmedium eingebrachten Schmelzabschnitte (Kontrollen), die der eingebrachten Abschnitte (Proben) sowie die sich hieraus errechnenden Fluoridaufnahmen angegeben. Die Einzelmesswerte können aus den Tabellen A 9-12 im Anhang entnommen werden.

Tabelle 17: Fluoridaufnahme in den Schmelzproben - mittlere Fluoridgehalte im Oberflächenschmelz (ppm) und Angabe der Ätztiefen (μm)

	Kontrollen		Proben		Differenz
	Ätztiefe (μm)	Fluorid (ppm)	Ätztiefe (μm)	Fluorid (ppm)	Fluorid (ppm)
<u>Gruppe A</u>					
nicht fluoridiert	41 ± 3	94 ± 25	21 ± 20	516 ± 494	422 ± 477
fluoridiert	31 ± 14	95 ± 53	24 ± 14	642 ± 270	546 ± 296
<u>Gruppe D</u>					
nicht fluoridiert	40 ± 4	111 ± 57	39 ± 8	211 ± 92	100 ± 57
fluoridiert	43 ± 5	125 ± 94	35 ± 4	1052 ± 817	927 ± 812
p-Werte*	0,058	0,991	0,107	0,043	0,019

* Kruskal-Wallis-Test zur Überprüfung statistischer Differenzen bzgl. der Ätztiefen und Fluoridkonzentrationen der 4 Untergruppen (Gruppe A und D, jeweils nicht fluoridiert oder fluoridiert)

Es konnte in beiden Untersuchungsgruppen, sowohl bei den mit NaF fluoridierten Proben als auch bei den nicht fluoridierten Proben eine Aufnahme von Fluorid im Schmelz beobachtet werden. Die statistische Überprüfung zeigt, dass sich Ätztiefe von Kontrollen und Proben sowie die Fluoridkonzentration der Kontrollen nicht signifikant zwischen den Untersuchungsgruppen unterscheiden (Kruskal-Wallis-Test). Weitere statistische Vergleiche (Wilcoxon-Test für verbundene Stichproben, s. Tabelle 18) bestätigen, dass sich mit Ausnahme der fluoridierten Proben in Gruppe D die Ätztiefen nicht unterscheiden, dass jedoch bei allen Vergleichen signifikante Unterschiede des Fluoridgehaltes zu bestimmen sind.

Tabelle 18: Statistische Vergleiche zur Fluoridbestimmung in den Schmelzproben

	Ätztiefe (µm)			Fluoridgehalt (ppm)		
	Kontrollen	Proben	p *	Kontrollen	Proben	p*
<u>Gruppe A</u>						
nicht fluoridiert	41 ± 3	21 ± 20	0,075	94 ± 25	516 ± 494	0,028
fluoridiert	31 ± 14	24 ± 14	0,249	95 ± 53	642 ± 270	0,028
<u>Gruppe D</u>						
nicht fluoridiert	40 ± 4	39 ± 8	0,463	111 ± 57	211 ± 92	0,028
fluoridiert	43 ± 5	34 ± 4	0,028	125 ± 94	1052 ± 817	0,028

* Wilcoxon-Test zur Überprüfung statistischer Differenzen bzgl. der Ätztiefen und Fluoridkonzentrationen zwischen Proben und Kontrollen

Eine abschließende statistische Betrachtung vergleicht die Fluoridaufnahme in den Gruppen A und D sowie den Einfluss der regelmäßigen Fluoridierung auf die Fluoridaufnahme in diesen Gruppen (Mann-Whitney-Test, Tabelle 19).

Tabelle 19: Vergleiche der Fluoridaufnahme in den Schmelzproben

	Fluoridaufnahme (ppm)		p-Wert *
	Gruppe A	Gruppe D	
nicht fluoridiert	422 ± 477	100 ± 57	0,078
fluoridiert	546 ± 296	927 ± 812	0,522
p-Wert *	0,262	0,025	

* Mann-Whitney-Test

Sowohl beim Vergleich der nicht fluoridierten Proben von Gruppe A und D ($p = 0,078$) als auch der fluoridierten Proben ($p = 0,522$) kann trotz deutlich verschiedener Mittelwerte kein signifikanter Unterschied festgestellt werden. Sowohl in Gruppe A als auch in Gruppe D ist ein z.T. deutlich höherer Fluoridgehalt der Schmelzproben der täglich fluoridierten Untergruppe zu erkennen. In Gruppe A beträgt die Fluoriddifferenz zwischen der fluoridierten und der nicht fluoridierten Gruppe 124 ppm, in Gruppe D hingegen 827 ppm. Während der Unterschied in Gruppe D statistisch signifikant ist, ist dies für Gruppe A nicht der Fall.

5. Diskussion

In der vorliegenden In-vitro-Studie wurde der Glasionomerzement Ketac Fil® Aplicap® unter standardisierten Bedingungen auf seine Fähigkeit untersucht, Fluorid in verschiedenen Lagerungsmedien abzugeben. Von Interesse war hierbei vor allem, welchen Einfluss auf dem Material befindliche Speichelbestandteile oder in der umgebenden Lösung enthaltene Speichelionen ausüben. Gleichzeitig erfolgte die Untersuchung der „Wiederaufladung“ des Materials mit einer Fluoridlösung von 1250 ppm. Auch hierbei sollte der Einfluss der Lagerungsmedien überprüft werden. Weiterhin wurde überprüft, ob aus dem Glasionomerzement freigesetzte Fluoridionen den Fluoridgehalt benachbarter Schmelzareale beeinflussen.

Fluoride sind ein unbestrittener Pfeiler zahnärztlicher Prophylaxe. Ihre größte Wirksamkeit zeigen sie posteruptiv. Lokale Fluoridapplikation trägt effektiv zur Kariesinhibition bei (Ögaard *et al.* 1986, Wefel 1990). Die häufige Anwendung einer niedrigen Fluoridkonzentration hat sich im Vergleich zu gelegentlicher Anwendung höherer Konzentrationen als am wirkungsvollsten gezeigt (Wefel 1990). Da Glasionomerzemente langanhaltend geringe Fluoridmengen abgeben, können sie einen Einfluss auf die Entstehung von Sekundärkaries ausüben. Garcia-Godoy und Jensen (1990) sowie Tysowsky *et al.* (1988) zeigten, dass Glasionomerzemente durch ihre Fluoridabgabe in der Lage sind, Sekundärkaries zu verhindern. Hierdurch erhält die Anwendung von Glasionomerzementen klinische Bedeutung.

Die Fluoridfreisetzung aus Glasionomerzementen wurde in vitro (Swartz *et al.* 1984, Forsten 1990, Hatibovic-Kofman und Koch 1991) und in vivo (Koch und Hatibovic-Kofman 1990, Hatibovic-Kofman und Koch 1991) vielfach nachgewiesen. Nach einer initial hohen Fluoridfreisetzung fällt die Menge des freigesetzten Fluorids innerhalb weniger Tage jedoch rapide ab (Swartz *et al.* 1984, Forsten 1990). Damit verringert sich auch der schützende Effekt des Fluorids. Glasionomerzemente können jedoch durch lokale Fluoridapplikation wieder „aufgeladen“ werden und setzen diese Fluoride anschließend wieder frei (Forsten 1991, Hatibovic-Kofman und Koch 1991, Seppä *et al.* 1993).

Mehrfach wurde auch gezeigt, dass – im Vergleich zu Wasser – die Freisetzung von Fluorid aus Glasionomerzementen und seine Wiederaufnahme in Speichel als umgebendem Medium deutlich reduziert sind (*Bell et al.* 1999, *Preston et al.* 1999, *Rezk-Lega et al.* 1991, *Damen et al.* 1996, *Levallois et al.* 1998, *Glockmann et al.* 1997, *Weidlich et al.* 2000, *Wandera et al.* 1996, *El Mallakh und Sarkar* 1990, *Tveit und Gjerdet* 1981, *Geurtsen et al.* 1998, *Williams et al.* 2001). Keinerlei Kenntnis liegt bislang darüber vor, welche Speichelbestandteile hierfür verantwortlich sind. Die vorliegende Studie differenziert hierbei erstmals zwischen organischen Speichelbestandteilen, welche als Pellikel dem Füllungsmaterial aufgelagert sind, und im Speichel gelösten Ionen.

5. 1. Diskussion der Methode

Die Untersuchung erfolgte als In-vitro-Studie. Obgleich In-vitro-Studien stets bezüglich ihrer Übertragbarkeit auf die intraorale Situation Beschränkungen unterliegen, können mit ihrer Hilfe unter standardisierten, reproduzierbaren Bedingungen generelle Mechanismen dargestellt werden, um das klinische Verhalten des Materials besser verstehen zu können. Eine möglichst genaue Simulierung intraoraler Bedingungen erhöht dabei die Aussagekraft für das klinische Verhalten.

In der vorliegenden Untersuchung wurde der Einfluss organischer und anorganischer Speichelbestandteile untersucht. Hierzu wurde sowohl künstlicher als auch natürlicher Speichel verwendet. Die organischen (Pellikel) und die anorganischen Speichelkomponenten wurden sowohl einzeln als auch in Kombination verwendet um herauszufinden, welche Bestandteile den größeren Einfluss auf die Fluoridbilanz des Materials ausüben.

Für die Bildung des Pellikels wurden einige Probekörper täglich für eine Stunde mit humanem Gesamtspeichel überzogen. Dies stellt eine Abweichung von der intraoralen Situation dar. Allerdings gilt diese Zeit als ausreichend, um ein Pellikel zu bilden. *Bell et al.* (1999) zeigten, dass sich ein nach 10-minütiger Speichelinkubation gebildetes Pellikel bezüglich seines Fluoriddiffusion-hemmenden Effektes nicht von einem 1-Stunden-Pellikel unterscheidet. *Damen et al.* (1996) wiesen nach, dass im Vergleich zu einem

jungen Pellikel erst nach einer Woche eine Veränderung im strukturellen Aufbau des Pellikels stattfindet.

Der zur Überprüfung des Einflusses der anorganischen Speichelbestandteile verwendete künstliche Speichel (*Matzker und Schreiber 1972*) enthielt den mengenmäßig größten Anteil der Ionen des natürlichen Speichels in entsprechender Konzentration. Es gibt keine Hinweise dafür, dass der Verzicht auf geringer konzentrierte Bestandteile Auswirkungen auf das Studienergebnis haben könnte.

In dieser Studie wurde zur Überprüfung der Fluoridwiederaufnahme in den Glasionomerzement eine 1250 ppm NaF-Lösung täglich für 3 Minuten verwendet. NaF wird auch in Zahnpasta und Mundspüllösungen verwandt, und die gewählte Fluoridkonzentration entspricht der mittleren Fluoridkonzentration einer Zahnpasta. Intraoral kommt es jedoch während der Anwendung zu einer Verdünnung durch die Mundflüssigkeit. Zudem ist die für das Zähneputzen aufgewendete Zeit durchschnittlich geringer als drei Minuten. Eine dreiminütige Anwendungszeit der Fluoridlösung führt somit zu einer höheren „Wiederaufladung“ des Materials, als bei der täglichen Fluoridanwendung mit Zahnpasten.

Bei der Beurteilung der Fluoridwiederaufnahme durch Glasionomerzemente ist neben einer chemischen Anlagerung an das ionenhaltige Material auch eine mechanische Anlagerung an Oberflächenrauigkeiten möglich. Um die mechanische Retention so gering wie möglich zu halten, wurden die Füllungen in der vorliegenden Studie nach dem Aushärten geglättet. Nach der täglichen Fluoridierung erfolgte zudem eine zweiminütige Spülung mit Aqua bidest. zur Entfernung oder zumindest Reduzierung mechanisch retinierter Fluoridanteile. Die gegen Ende der Versuchsdauer geringer werdende „Wiederaufladung“ zeigt an, dass das Fluorid von dem Material dank dessen chemischer Bindungskapazität aufgenommen wurde (*Schiffner und von Bröckel 1999*).

Ogleich die Untersuchung in vitro erfolgte, wurden die Probekörper stets feucht gehalten, da ein Austrocknen insbesondere innerhalb der ersten 24 Stunden nach Anmischen zu einer Abnahme der Fluoridabgabe führen kann (*Causton 1980*). Diese Kenntnis weist auf eine Fluoridfixation in dieser Zeitspanne hin. Es wird vermutet, dass Zement, welcher länger vor

Feuchtigkeit geschützt war, vermehrt Fluorid als Aluminium-Fluorid-Komplex in seine Gelmatrix einbaut.

Wenn die Vergleichbarkeit mit der intraoralen Situation durch die Anwesenheit von organischen und anorganischen Speichelkomponenten gegenüber anderen Studien deutlich erhöht ist, so fehlt mit der bakteriellen Plaque doch ein weiterer wichtiger Parameter der Mundhöhle. Plaque ist ein wichtiger Ort der Fluoridspeicherung. Infolge einer Senkung des pH-Wertes in aufgelagerter Plaque kann zudem die Fluoridabgabe aus Glasionomerzementen erhöht sein (*Rezk-Lega et al.* 1991). Somit beschränkt sich die Aussage der Studie auf plaquefreie Glasionomerzementfüllungen.

Ein Einblick in die klinische Bedeutung der Fluoridfreisetzung aus Glasionomerzement sollte mit dem zweiten Teil der Untersuchung erhalten werden. Hierbei wurde untersucht, wieviel aus dem Glasionomerzement stammendes Fluorid oberflächlich in benachbartem Zahnschmelz aufgenommen wird. Der Vergleich der täglich fluoridierten mit den nicht fluoridierten Probekörpern ermöglicht eine Abschätzung, in welchem Ausmaß der fluoridhaltige Zement bzw. die NaF-Spülung zur Fluoridaufnahme beitragen. Hierdurch können orientierende Aussagen über die Effektivität der unterschiedlichen Fluoridquellen abgeleitet werden.

Die Auswirkung der Fluoridfreisetzung auf den Fluoridgehalt des Zahnschmelzes wurde nur in den Untersuchungsgruppen A und D überprüft. Es sind dies die Gruppen, welche die experimentellen Extreme darstellen, indem zum einen lediglich Wasser als Lagerungsmedium (Gruppe A), zum anderen künstlicher Speichel als Medium plus natürlicher Speichel als Pellikel vorhanden waren (Gruppe D).

Hierbei ist jedoch auch zu berücksichtigen, dass die Anzahl der untersuchten Proben klein ist. Da es sich beim Zahnschmelz im Gegensatz zum Glasionomerzement um biologisches Material handelt, ist unabhängig von der durchgeführten Fluoridierung mit einer Schwankung des Fluoridgehaltes zu rechnen. So lassen die bei einigen Schmelzproben gefundenen hohen Fluoridgehalte die Vermutung zu, dass die Ursprungszähne bereits in der jeweiligen Herkunftsmundhöhle mit Fluorid in Kontakt gekommen sind. Angesichts der Schwankung des Fluoridgehaltes und der geringen Probenzahl sind die Aussagen zum

Vergleich des Fluoridierungseffektes zwischen Zement und Spüllösung nur orientierender Natur. Im Sinne einer Pilotstudie sollen sie als Anlass zu weitergehenden Untersuchungen interpretiert werden.

Die für diese Studie gewählte Dauer von 28 Tagen umfasst den Zeitraum der initial hohen Fluoridfreisetzung und der nachfolgend stetig geringer werdenden Fluoridabgabe bis hin zu einer Phase, in der sich die Freisetzung von Tag zu Tag nur noch minimal verändert. Dennoch sollten Aussagen über Wiederaufladeeffekte bei älteren Füllungen nur mit Zurückhaltung abgeleitet werden.

5. 2. Diskussion der Ergebnisse

Mit der vorliegenden Untersuchung wurde die Fähigkeit von Glasionomorzementen, Fluorid freizusetzen, bestätigt. Das Maximum der Fluoridfreisetzung wurde in Übereinstimmung mit der Literatur innerhalb der ersten 24 Stunden erreicht (*El Mallakh und Sarkar 1990, Creanor et al. 1994*). Die freigesetzte Fluoridmenge fiel bereits innerhalb der zweiten 24 Stunden rapide ab und erreichte ab etwa dem 8. Tag ein in etwa gleichbleibendes Niveau.

Nach *Tay und Braden (1988)* und *Verbeeck et al. (1993)* erfolgt die Fluoridabgabe in zwei Phasen. Die erste Phase ist durch eine hohe initiale Abgabe von der Oberfläche her charakterisiert. Über die klinische Relevanz dieser frühen Fluoridfreisetzung gibt es noch keine Kenntnisse. Es ist denkbar, dass das Fluorid die Remineralisation demineralisierter Zahnhartsubstanz fördert. Die zweite Phase der Reaktion dauert mindestens zwei bis zweieinhalb Jahre an (*Tay und Braden 1988, Forsten 1990, Mitra 1991*). In dieser Phase werden kleine Mengen an Fluorid aus dem ganzen Füllungskörper freigesetzt. Der Hauptvorteil dieser Langzeitfluoridfreisetzung könnte dabei der Schutz vor Sekundärkaries sein. Die minimale Menge an Fluorid, welche zur Prävention vor Sekundärkaries notwendig ist, ist jedoch bis heute nicht bekannt, da die Kariesentstehung von einer Vielzahl unterschiedlicher Faktoren abhängt (*Gülzow 1995*).

Durch die Studie wurde weiterhin bestätigt, dass Glasionomorzemente aus einer Fluoridlösung wieder Fluorid aufnehmen können, um dieses aufgenommene Fluorid

anschließend wieder abzugeben. Der exakte Mechanismus der Wiederaufladung ist bisher noch unbekannt. Die Permeabilität des Materials und die Konzentration der verwendeten Fluoridlösung spielen aber eine entscheidende Rolle. Fluorid kann chemisch an das Füllungsmaterial gebunden werden oder es verbleiben mechanisch Reste der Fluoridlösung in oberflächlichen Porositäten des Füllungsmaterials. Die Permeabilität des Materials bestimmt, in welcher Tiefe die Absorption und die Wiederfreisetzung des Fluorids stattfinden. Ein wenig permeables Material kann das Fluorid nur in seine unmittelbare Oberfläche aufnehmen, während ein komplett permeables Material die Ionen bis tief in seine Masse absorbiert (*Preston et al.* 1999, *Gao et al.* 2000).

Da die Fluoridfreisetzung aus dem Glasionomerzement innerhalb der ersten 24 Stunden rapide abfällt, jedoch ein Großteil der Bevölkerung täglich eine fluoridierte Zahnpasta verwendet, kann die Fähigkeit eines Materials zur Wiederaufladung mit Fluorid eine Möglichkeit sein, die positiven Effekte des Materials wie die Prävention von Sekundärkaries dank der dadurch gesteigerten Fluoridfreisetzung zu verstärken.

Sowohl die Fluoridfreisetzung als auch die Fluoridaufnahme werden jedoch deutlich von den umgebenden Bedingungen beeinflusst. Dies wird durch die vorliegende Studie eindrucksvoll bestätigt. Im Vergleich zur Gruppe in Aqua bidest. erfolgt eine verminderte Fluoridfreisetzung und –wiederaufladung in der Gruppe mit Inkubation in natürlichem Speichel. Speichel bildet auf Zähnen und Füllungsflächen eine semipermeable Membran, die die Ionenbeweglichkeit einschränkt. Im Gegensatz zur Lagerung in Wasser stellt das Pellikel aus Speichelproteinen mithin ein Diffusionshindernis dar (*Nikiforuk* 1985). Auch *Rezk-Lega et al.* (1991) zeigten den reduzierenden Einfluss einer vorhergehender Inkubation in Speichel auf die Fluoridfreisetzung des Glasionomerzementes.

Insgesamt sind im Vergleich der vier Untersuchungsgruppen deutlich unterschiedliche Fluoridfreisetzungen zu beobachten. Von Gruppe A (Lagerung in Aqua bidest.) zu Gruppe D (Lagerung in künstlichem Speichel mit Pellikel aus natürlichem Speichel) wird die Fluoridbilanz zunehmend geringer. So übt das aus natürlichem Speichel gebildete Pellikel (Gruppe B) bereits eine reduzierende Wirkung auf die Fluoridbilanz aus. Trotzdem kommt dem Pellikel der vorliegenden Untersuchung zufolge nicht der entscheidende Einfluss auf die Fluoridbilanz des Glasionomerzementes zu. Statistisch signifikanter ist der Einfluss der

Speichelionen (Gruppe C). So ist in Gegenwart des künstlichen Speichels die Fluoridfreisetzung aus dem Glasionomerzement sowie die Fluoridfreisetzung nach Wiederaufladung stark vermindert im Vergleich zur Fluoridfreisetzung in Aqua bidest. mit oder ohne vorhandenes Pellikel (Gruppen A und B, siehe Abbildungen 5-8).

Die Beobachtung, dass der künstliche Speichel mit seinen Ionen maßgeblichen Einfluss auf den Fluoridumsatz hat, kann dadurch erklärt werden, dass der künstliche Speichel Ionen wie Kalzium oder Natrium enthält, welche auch im Zement enthalten sind. Infolge der im Vergleich zu Wasser unterschiedlichen Ionenaktivität des künstlichen Speichels stellt sich ein unterschiedlicher Diffusionsgradient ein, welcher möglicherweise Auswirkungen auf die Herauslösung der Fluoridionen hat.

Die genannten Ionen sind darüber hinaus in der Lage, mit Fluorid ionische Bindungen einzugehen. Daher wird sich zwischen Probenoberfläche und künstlichem Speichel ein anderes Lösungsgleichgewicht einstellen als in Wasser. Auch daher ist die Diffusion in und aus dem Material durch den künstlichen Speichel stark herabgesetzt. Eine weitere Erklärung liegt in der von *Levallois et al.* (1998) gezeigten Bildung einer relativ unlöslichen Kalziumfluoridschicht an der Probenoberfläche. Diese kann ebenfalls als Diffusionshindernis wirken.

Der entscheidende Einfluss auf den verringerten Fluoridumsatz geht mithin von den in Lösung befindlichen Speichelionen aus. Dies gilt sowohl bezüglich der primären Fluoridfreisetzung als auch für die Freisetzung nach Wiederaufladung. Das Vorhandensein von anorganischen und – in Form eines Pellikel – von organischen Speichelbestandteilen zusammen führt zu einer weiteren Einschränkung des Fluoridumsatzes. So ist in Gruppe D mit der Kombination von künstlichem und natürlichem Speichel die Fluoridbilanz am geringsten. Allerdings besteht im Vergleich zur Gruppe C kein signifikanter Unterschied (Ausnahme: 21. und 28. Tag der nicht fluoridierten Proben, bei allerdings sehr geringen Fluoridmengen, siehe Tabelle 13). Diese Beobachtung bestätigt die entscheidende Rolle der im Umgebungsmedium gelösten Ionen. Das Pellikel scheint demgegenüber geringeren Einfluss zu haben.

Ketac Fil® Aplicap® zeigte sich in Übereinstimmung zu einer Studie von *Weidlich et al.* (2000) in allen untersuchten Medien nicht nur in der Lage, Fluorid abzugeben, sondern auch durch eine NaF-Lösung wieder aufgeladen zu werden. In allen Lagerungsmedien wurden größere Fluoridmengen von den täglich fluoridierten als den nicht fluoridierten Proben abgegeben. Die initial hohe Fluoridabgabe innerhalb der ersten 24 Stunden konnte jedoch in keiner Gruppe, ob fluoridiert oder nicht fluoridiert, wieder erreicht werden. Entsprechend den Untersuchungen von *Gao et al.* (1999) wird ein Teil des aufgenommenen Fluorids chemisch an das Füllungsmaterial gebunden, ein anderer Teil verbleibt in den oberflächlichen Porositäten des Materials und wird hieraus wieder abgegeben.

Die unterschiedliche Fluoridfreisetzung in den verschiedenen Medien ist auch nach „Aufladung“ des Glasionomerzementes mit einer NaF-Lösung zu beobachten. Auch hier zeigt sich der Einfluss des Pellikels, der eine Reduktion der Wiederaufladung verursacht. Die wesentlich größere Verminderung der Wiederaufladung erfolgte aber durch die Speichelionen des künstlichen Speichels.

Die Freisetzung von Fluorid aus Glasionomerzement erhält dadurch klinische Bedeutung, dass mit Fluorid Sekundärkaries oder Karies benachbarter Zahnareale gehemmt werden kann. Daher wurde in der Studie überprüft, ob zusätzlich zu den unterschiedlichen Fluorid-Umsatzraten verschieden hohe Fluoridaufnahmen in den oberflächlichen Zahnschmelz feststellbar waren. Die Differenzierung bezüglich Probekörpern und Schmelzabschnitten, welche regelmäßig mit NaF fluoridiert wurden, und solchen ohne zusätzliche Fluoridierung erlaubt darüber hinaus Abschätzungen über die relative Bedeutung der Fluoridfreisetzung aus dem Füllungsmaterial.

Unter beiden Versuchsbedingungen (Gruppe A und D) konnte eine Erhöhung des Fluoridgehaltes im Schmelz nachgewiesen werden. Dabei war die Fluoridaufnahme in Gruppe A in der nicht fluoridierten Teilgruppe um ein vielfaches höher als in Gruppe D (Differenz der Proben- und Kontrollplättchen der nicht fluoridierten Proben: Gruppe A: 422 ppm, Gruppe D: 100 ppm). Es kann unterstellt werden, dass sich auf der Schmelzoberfläche der Gruppe D ein Pellikel mit der bereits diskutierten Fluorid-Barrierefunktion gebildet hat. Dadurch kann der höhere Fluoridgehalt der in Aqua bidest. gelagerten Schmelzplättchen

erklärt werden. Auch der bereits diskutierte Einfluss des künstlichen Speichels auf die Fluoridfreisetzung aus dem Glasionomierzement erklärt die verminderte Fluoridaufnahme in den Schmelz in Gruppe D bei den nicht fluoridierten Proben. Allerdings waren die Differenzen dieser Werte, auch wegen der geringen Fallzahl, in der statistischen Berechnung nicht signifikant.

Die Differenz des Fluoridgehaltes von Proben- und Kontrollplättchen zeigte sowohl in Gruppe A als auch in Gruppe D höhere Werte in der fluoridierten Untergruppe im Vergleich zu den nicht fluoridierten Proben. Der Wert der Gruppe D liegt hier über dem Wert der Gruppe A (Differenz der Proben- und Kontrollplättchen: Gruppe A: 546 ppm, Gruppe D: 927 ppm). Es ist zu vermuten, dass hier der Einfluss der 1250 ppm NaF-Lösung zum Tragen kommt. Für die Wirksamkeit einer fluoridhaltigen Spüllösung ist die Entfernung des Pellikels zuvor nicht erforderlich (*Cruz und Rölla* 1991). Aufgrund der geringen Anzahl verwertbarer Messergebnisse konnte keine statistische Signifikanz ermittelt werden. Auch lässt die große Varianz der Ergebnisse (siehe Tabelle 19) nur eine vorsichtige Interpretation der Ergebnisse zu.

Es wurde bei der Untersuchung des Fluoridgehaltes der Lagerungsmedien eine Abnahme der freigesetzten Fluoridmenge in Gruppe D festgestellt. Somit stand für die Aufnahme im Zahnschmelz entsprechend weniger Fluorid zur Verfügung. Der Einfluss des aus dem Glasionomierzement freigesetzten Fluorids scheint jedoch angesichts seiner Menge im Vergleich zum Einfluss der NaF-Lösung vernachlässigbar gering.

Bei den nicht fluoridierten Proben der Gruppe A liegen die im Lösungsmedium gefundenen Fluoridkonzentrationen derjenigen Proben, neben denen Schmelzplättchen befestigt waren, deutlich unter den Mittelwerten der Proben ohne benachbarte Schmelzplättchen (p-Werte für Tag 2 – 28 $p \leq 0,05$, siehe Tabelle 7). In dieser Gruppe kann nur das aus den Materialproben freigesetzte Fluorid von den Schmelzplättchen aufgenommen werden (Gesamtfluoridfreisetzung im Lagerungsmedium in 7 Messtagen: ohne Schmelzplättchen: 135,7 $\mu\text{g}/\text{cm}_2$, mit Schmelzplättchen: 87,8 $\mu\text{g}/\text{cm}_2$).

Bei den fluoridierten Proben der Gruppe A unterscheidet sich der Fluoridgehalt im umgebenden Wasser zwischen Materialproben mit und ohne benachbarte Schmelzplättchen

nur geringfügig. Daraus kann gefolgert werden, dass der Einfluss der NaF-Lösung deutlicher als die Menge des aus dem Glasionomerzement freigesetzten Fluorids ist. Unter diesen Lagerungsbedingungen ist also kein klinischer Effekt der Fluoridfreisetzung aus dem Füllungsmaterial ableitbar.

Schwer zu interpretieren ist der Einfluss des benachbarten Schmelzes auf den Fluoridgehalt der Lösung in Gruppe D. Zum einen ist der Fluoridumsatz wie bereits diskutiert deutlich verringert. Zum anderen ist jedoch im Lagerungsmedium der regelmäßig fluoridierten Proben über den gesamten Versuchszeitraum (Tag 2 – 28) ein höherer Fluoridgehalt der Proben ohne benachbarte Schmelzplättchen zu beobachten (siehe Tabelle 8). Diese Unterschiede zeigen aber nur an einzelnen Tagen eine statistische Signifikanz. Welche Anteile des offensichtlich vom Schmelz aufgenommenen Fluorids aus dem Füllungsmaterial bzw. aus der NaF-Spüllösung stammen, lässt sich hingegen nicht feststellen.

Aus den hier vorgelegten Daten der Fluoridaufnahme im Zahnschmelz lässt sich trotz der geringen Fallzahl ableiten, dass eine signifikante Erhöhung der Fluoridkonzentration im Oberflächenschmelz neben Glasionomerzementfüllungen auftreten kann (Differenz der Proben- und Kontrollplättchen der nicht fluoridierten Proben: Gruppe A: 422 ppm, Gruppe D: 100 ppm). Diese Erhöhung ist jedoch geringer als die durch regelmäßige Fluoridierung mit der NaF-Lösung erzielte Fluoridaufnahme, dennoch ist ein klinischer Effekt nicht ausgeschlossen.

So kann vor allem die Fluoridabgabe aus frischem Glasionomerzement die Demineralisation des Schmelzes angrenzender Zähne verhindern (*Hicks et al.* 1986, *Hattab et al.* 1989, *Swift* 1989, *Forss und Seppä* 1990) und bereits bestehende Demineralisation reduzieren (*Diaz-Arnold et al.* 1995, *Forsten* 1990).

Glasionomerzemente besitzen zudem einen schwach antibakteriellen Effekt. In einigen Studien konnte eine Reduktion des Bakterienwachstums an Glasionomerfüllungen gezeigt werden (*Berg et al.* 1990, *De Schepper et al.* 1989). Die Vermehrung vieler Keime der Mundhöhle ist in Anwesenheit von Fluorid gehemmt. Dies ist jedoch von der Fluoridkonzentration abhängig.

Letztlich ist jedoch auch klinisch die Bedeutung von Glasionomerzement zur Verringerung der Sekundärkaries Gegenstand der Diskussion. Zwar konnte in mehreren Arbeiten weniger Sekundärkaries neben Glasionomerzementfüllungen gefunden werden, was auf die Fluoridabgabe und dessen Aufnahme in das Zahnhartgewebe zurückgeführt wird (*Forss und Seppä* 1990). Andererseits stellen *Musanje et al.* (2001) fest, dass die große Anzahl verfügbarer Glasionomerzemente mit teilweise erheblich variierendem Fluoridgehalt eine allgemein zutreffende Aussage zur Karieshemmung erheblich erschwere. *Randall und Wilson* (1999) kommen in einer Literaturübersicht sogar zu der Schlussfolgerung, dass letztendlich keine Aussage für oder gegen einen kariesinhibierenden Effekt von Glasionomerzementen getroffen werden könne. Die Autoren kritisieren, dass bei vielen Studien nur eine kleine Stichprobengröße vorliege. Allenfalls in Situationen mit Randspalten sei es denkbar, dass eine geringe kontinuierliche Fluoridfreisetzung einen Vorteil bringe.

Ungeachtet dieser Einschränkungen kann aus der vorliegenden Arbeit gefolgert werden, dass zum In-vitro-Studium der Fluoridfreisetzung aus Glasionomerzementen ein speichelähnliches Untersuchungsmedium verwendet werden sollte. Die der intraoralen Situation am nächsten kommende Verwendung eines Pellikels aus humanem Speichel zusammen mit der Lagerung in künstlichem Speichel hemmt den Fluoridumsatz am auffälligsten. Allerdings übt den stärksten Hemmeffekt die Gegenwart der im künstlichen Speichel gelösten Ionen aus. Ein Pellikel hat im Vergleich hierzu keine statistisch signifikanten weiteren Hemmeffekte zur Folge. Im Sinne labortechnischer Vereinfachung kann daher unter Beachtung der Aufwand-Nutzen-Relation auf ein Pellikel aus menschlichem Speichel verzichtet werden, da die Gewinnung und Verarbeitung des Speichels zusätzliche Arbeitsabschnitte bedeuten, welche keine zusätzlichen Erkenntnisse erbringen. Unverzichtbar erscheint hingegen die Forderung nach Verwendung eines künstlichen Speichels als Lagermedium zur Überprüfung des Fluoridumsatzes aus Glasionomerzementen.

6. Zusammenfassung

Ziel der vorgelegten Arbeit war es, den Einfluss verschiedener Lagerungsbedingungen auf die Fluoridabgabe und –wiederaufnahme des Glasionomerzementes Ketac Fil® Aplicap® zu untersuchen. Dabei wurde der Abgabe in Aqua bidest. die Abgabe in künstlichem Speichel gegenübergestellt. Ferner wurde jedes dieser beiden Medien mit oder ohne ein Pellikel aus menschlichem Speichel auf der Materialprobe angewendet. Dadurch konnte differenziert werden, ob Speichelproteine im Pellikel oder Speichelionen im Medium den größeren Einfluss auf die Fluoridbilanz des Materials ausüben. Zugleich wurde untersucht, wie sich die Fluoridfreisetzung unter dem Einfluss regelmäßiger lokaler Applikation einer Fluoridlösung mit dem mittleren ppm-Gehalt einer Zahnpasta verhält. Weiterhin wurde überprüft, ob aus dem Glasionomerzement freigesetzte Fluoridionen in der Lage sind, den Fluoridgehalt benachbarter Schmelzareale zu beeinflussen.

Aus dem Glasionomerzement Ketac Fil® Aplicap® wurden unter standardisierten Bedingungen 72 Materialproben hergestellt. Die Proben wurden nach dem Aushärten in vier Gruppen unterteilt. 24 Materialproben wurden in Aqua bidest. gelagert, 12 Materialproben wurden in Aqua bidest. gelagert und zuvor eine Stunde mit natürlichem Speichel beschichtet. 12 Materialproben wurden in künstlichem Speichel aufbewahrt, und 24 Materialproben wurden ebenfalls in künstlichem Speichel aufbewahrt, zuvor jedoch eine Stunde mit natürlichem Speichel bedeckt. Alle 24 Stunden wurden die jeweiligen Lagerungsmedien für die Dauer von 28 Tagen erneuert. Die Hälfte der Proben einer jeden Gruppe wurde zuvor täglich mit einer 1250 ppm NaF-Lösung fluoridiert. Mit Hilfe der ionensensitiven Fluoridelektrode wurde der Fluoridgehalt im Lagerungsmedium ermittelt. Die freigesetzte Fluoridmenge wurde auf die freie Oberfläche der Probekörper bezogen und als $\mu\text{g}/\text{cm}_2$ angegeben.

In allen Gruppen war innerhalb der ersten 24 Stunden nach Aushärten des Glasionomerzementes eine initial hohe Fluoridabgabe zu erkennen. Nach dem Rückgang der freigesetzten Fluoridmenge war ab etwa dem 8.Tag ein gleichbleibendes Niveau erreicht.

Die größte Menge an Fluorid wurde zu jedem Zeitpunkt in Aqua bidest. freigesetzt. Dies gilt sowohl für die fluoridierten als auch für die nicht fluoridierten Proben. Durch die

Beschickung mit natürlichem Speichel wurde die Fluoridfreisetzung und -wiederaufladung herabgesetzt. Den größten und damit wahrscheinlich entscheidenden Einfluss auf die Fluoridbilanz üben aber die Ionen des umgebenden künstlichen Speichels aus. Dies gilt auch nach „Wiederaufladung“ mit Fluorid. Durch Kombination von Pellikel und künstlichem Speichel konnte die Fluoridkinetik demgegenüber nicht mehr signifikant beeinflusst werden.

Als Ursache für die Hemmung der Fluoridaufnahme und –abgabe kann für den künstlichen Speichel angenommen werden, dass dessen Ionen den Diffusionsgradienten deutlich verringern. Zusätzlich kann eine Kalziumfluoridschicht auf der Materialoberfläche den Fluoridaustausch hemmen.

Bei jeweils 12 Glasionomierzementproben aus der lediglich in Wasser gelagerten Gruppe sowie aus der Gruppe mit Pellikelbildung und Lagerung in künstlichem Speichel wurden in 2 mm Abstand von den Materialproben Schmelzplättchen befestigt. Nach den 28 Untersuchungstagen wurde der Fluoridgehalt der Schmelzplättchen bestimmt.

Ein Teil des aus den Materialproben freigesetzten Fluorids wurde von den Schmelzplättchen aufgenommen und führte somit zu einer Verringerung des Fluoridgehaltes des Lagerungsmediums. In der nicht fluoridierten Gruppe mit Pellikelbildung und Lagerung in künstlichem Speichel war eine deutliche Hemmung der Fluoridaufnahme in den Zahnschmelz nachweisbar.

Insgesamt erscheint der Einfluss des aus dem Glasionomierzement freigesetzten Fluorids auf die Fluoridaufnahme in benachbarten Schmelz besonders unter der Einwirkung von Speichelpellikel und Speichelionen, im Vergleich zur Fluoridaufnahme aus einer Natriumfluoridlösung, gering.

7. Literaturverzeichnis

Armstrong, W.D., Brekhus, P.J.: Chemical constitution of enamel and dentin. J Biol Chem 120, 677-687 (1937)

Bell, A., Creanor, S.L., Foye, R.H., Saunders, W.P.: The effect of saliva on fluoride release by a glass-ionomer filling material. J Oral Rehabil 26, 407-412 (1999)

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)

Berg, J.H., Farrell, J.E., Brown, L.R.: Class II glass ionomer/silver cement restorations and their effect on interproximal growth of mutans streptococci. Pediatr Dent 12, 20-23 (1990)

Bynum, A.M., Donly, K.J.: Enamel de/remineralization on teeth adjacent to fluoride releasing materials without dentifrice exposure. J Dent Child 66, 89-92 (1999)

Carvalho, A.S., Cury, J.A.: Fluoride release from some dental materials in different solutions. Oper Dent 24, 14-19 (1999)

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

Causton, B.E.: The physico-mechanical consequences of exposing glass ionomer cements to water during setting. Biomaterials 2, 112-115 (1980)

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)

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

Damen, 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., White, R.R., von der Lehr, W.N.: Antibacterial effects of glass ionomer cements. *Am J Dent* 2, 51-56 (1989)

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)

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

Eichner, K.: Zahnärztliche Werkstoffe und ihre Verarbeitung. 5.Auflage, Hüthig, Heidelberg, 1988, S. 77-103

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

Forss, H., Seppä, L.: Prevention of enamel demineralization adjacent to glass ionomer filling materials. *Scand J Dent Res* 98, 173-178 (1990)

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

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

Ganschow, C.: Fluoridaufnahme im Schmelz nach zehnwöchigem Putzen mit verschiedenen aminfluoridhaltigen Zahnpasten (eine In-Vitro-Studie). Med Diss, Hamburg 1992

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)

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

Garcia-Godoy, F., Jensen, M.E.: Artificial recurrent caries in glass ionomer-lined amalgam restorations. Am J Dent 3, 89-93 (1990)

Geurtsen, W., Bubeck, P., Leyhausen, G., Garcia-Godoy, F.: Effects of extraction media upon fluoride release from a resin-modified glass-ionomer cement. Clin Oral Invest 2, 143-146 (1998)

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

Gülzow, H.-J.: Präventive Zahnheilkunde. Carl Hanser, München 1995, S. 39-44 und S. 127-131

Hannig, M.: Transmission electron microscopic study of in vivo pellicle formation on dental restorative materials. Eur J Oral Sci 105, 422-433 (1997)

Hannig, M.: Ultrastructural investigation of pellicle morphogenesis at two different intraoral sites during a 24-h period. Clin Oral Invest 3, 88-95 (1999)

Hannig, M., Balz, M.: Influence of in vivo formed salivary pellicle on enamel erosion. Caries Res 33, 372-379 (1999)

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

Hatibovic-Kofmann, S., Koch, G., Ekstrand, J.: Glass ionomer as a rechargeable fluoride system. J Dent Res 73, 134 (1994)

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

Hattab, F.N., Mok, N.Y.C., Agnew, E.C.: Artificially formed caries-like lesions around restorative materials. J Am Dent Assoc 118, 193-197 (1989)

Hicks, M.J., Flatitz, C.M., Silverstone, L.M.: Secondary caries formation in vitro around glass ionomer restorations. Quintessence Int 17, 527-532 (1986)

Hørsted-Bindslev, P.: Fluoride release from alternative restorative materials. J Dent 22, S17-S20 (1994)

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)

Koch, G.J., 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 Parodontopathien, Ätiologie und Prophylaxe. Georg Thieme, Stuttgart 1993

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

Lawrence, L.G.: Cervical glass-ionomer restorations: a clinical study. J Can Dent Assoc 45, 58-62 (1979)

Levallois, B., Fovet, Y., Lapeyre, L., Gal, J.Y.: In vitro release from restorative materials in water versus artificial saliva medium (SAGF). *Dent Mater* 14, 441-447 (1998)

Low, T.: The treatment of hypersensitive cervical abrasion cavities using ASPA cement. *J Oral Rehabil* 8, 81-89 (1981)

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)

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 remineralization. *Caries Res* 31, 418-422 (1997)

Matzker, J., Schreiber, J.: Synthetischer Speichel zur Therapie der Hyposialien, insbesondere bei der radiogenen Sialadenitis. *Z Laryng Rhinol* 51, 422-428 (1972)

McCann, H.G.: Determination of fluoride in mineralized tissues using the fluoride ion electrode. *Arch Oral Biol* 13, 475-477 (1968)

Mitra, S.B.: In vitro fluoride release from a light-cured glass ionomer liner/base. *J Dent Res* 70, 75-78 (1991)

Mount, G.J.: Glass ionomer cements in gerodontology: a status report for the American Journal of Dentistry. *Am J Dent* 1, 123-128 (1988)

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

Musanje, L., Shu, M., Darvell, B.W.: Water sorption and mechanical behaviour of cosmetic direct restorative materials in artificial saliva. *Dent Mater* 17, 394-401 (2001)

Nikiforuk, G.: Understanding Dental Caries 1, Etiology and Mechanisms. Karger, Basel 1985, pp 256-260

Ögaard, B., Arends, J., Schuthof, J., Rølla, G., Ekstrand, J., Oliveby, A.: Action of fluoride on initiation of early enamel caries in vivo. Caries Res 20, 270-277 (1986)

Plant, C.G., Browne, R.M., Knibbs, P.J.: Pulpal effects of glass ionomer cements. Int Endodont J 17, 51-59 (1984)

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

Preston, A.J., Higham, S.M., Agalamanyi, E.A., Mair, L.H.: Fluoride recharge of aesthetic dental materials. J Oral Rehabil 26, 936-940 (1999)

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)

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)

Saul, L. : Die Fluoridfreisetzung aus einem Glasionomerzement und einem Kompomer im sauren Milieu und die hieraus resultierende Fluoridaufnahme im Zahnschmelz. Med Diss, Hamburg 2002

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)

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

Segura, A., Donly, K.J., Stratmann, R.G.: Enamel remineralization on teeth adjacent to class II glass ionomer restorations. Am J Dent 10, 247-250 (1997)

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

Seppä, L., Ögaard, B., Forss, H.: 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)

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

Swartz, M.L., Phillips, R.W., Clark, H.E.: Long-term fluoride release from glass ionomer cements. *J Dent Res* 63, 158-160 (1984)

Swift, E.J.: Effect of mixing time on fluoride release from a glass ionomer cement. *Am J Dent* 1, 132-134 (1988)

Swift, E.J.: Effect of glass ionomers on recurrent caries. *Oper Dent* 14, 40-43 (1989)

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)

Tay, W.M., Braden, M.: Fluoride ion diffusion from polyalkenoate (glass ionomer) cements. *Biomaterials* 9, 454-456 (1988)

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)

Tveit, A.B., Gjerdet, N.R.: Fluoride release from a fluoride-containing amalgam, a glass ionomer cement and a silicate cement in artificial saliva. *J Oral Rehabil* 8, 237-241 (1981)

Tysowsky, G., Jensen, M., Sheth, J.: Anticariogenic potential of fluoride releasing dental restorative materials. J Dent Res 67, 145 (1988)

Verbeeck, R.M.H., Demoor, R.J.G., van Even, D.F.J., Martens, L.C. : The short-term fluoride release of a handmixed vs. capsulated system of a restorative glass ionomer cement. J Dent Res 72, 577-581 (1993)

von Bröckel, U.: Die Fluoridabgabe aus zwei fluoridhaltigen Kompositen und einem Kompomer im Vergleich zur Fluoridfreisetzung aus einem Glasionomerzement. Med Diss, Hamburg 2001

Wandera, A., Spencer, P., Bohaty, B.: In vitro comparative fluoride release, and weight and volume change in light-curing and self-curing glass ionomer materials. Pediatr Dent 18, 210-214 (1996)

Wefel, J.S.: Effect of fluoride on caries development and progression using intra-oral models. J Dent Res 69, 626-633 (1990)

Weidlich, P., Miranda, L.A., Maltz, M., Samuel, S.M.W.: Fluoride release and uptake from glass ionomer cements and composite resins. Braz Dent J 11, 89-96 (2000)

Williams, J.A., Billington, R.W., Pearson, G.J.: A long term study of fluoride release from metal-containing conventional and resin-modified glass-ionomer cements. J Oral Rehab 28, 41-47 (2001)

Wilson, A.D., Kent B.E.: A new translucent cement for dentistry: the glass ionomer cement. Br Dent J 132, 133-135 (1972)

Young, A., Rykke, M., Rölla, G.: Quantitative and qualitative analyses of human salivary micelle-like globules. Acta Odontol Scand 57, 105-110 (1999)

Anhang

Tabelle A1 – A8: Einzelmesswerte der Fluoridfreisetzung in den jeweiligen Lagerungsmedien

Tabelle A9 – A12: Einzelmesswerte des Fluoridgehaltes der Schmelzplättchen

Gruppe A: Lagerung in Aqua bidest., nicht fluoridiert							
<u>Probe/ Tag</u>	1.	2.	4.	8.	14.	21.	28.
1	86,9	51,6	26,4	10,1	6,5	4,3	4,0
2	49,1	36,5	20,1	10,6	6,8	4,3	3,1
3	69,2	46,6	25,1	10,9	7,4	5,4	3,5
4	36,5	15,8	9,1	6,8	5,5	3,6	2,5
5	56,6	44,1	18,6	8,5	8,3	5,9	3,9
6	41,5	25,8	13,0	7,0	6,5	4,0	3,0
Mittelwert ohne Schmelzplättchen	56,6±18,8	36,7±13,7	18,7±6,7	9,0±1,8	6,8±0,9	4,6±0,9	3,3±0,6
7	25,0	9,9	4,9	4,8	4,1	3,5	3,0
8	49,1	21,9	10,9	6,5	3,8	2,8	1,8
9	59,1	21,6	13,1	6,8	6,0	2,6	2,8
10	41,5	12,4	5,9	5,6	4,0	2,5	2,0
11	57,9	21,4	11,8	6,1	3,5	2,5	1,9
12	49,1	16,4	7,1	3,9	2,5	1,6	1,4
Mittelwert mit Schmelzplättchen	47,0±12,6	17,3±5,2	8,9±3,4	5,6±1,1	4,0±1,1	2,9±0,6	2,1±0,6

Tabelle A1: Einzelmesswerte der Fluoridfreisetzung (µg/cm₂) und Mittelwerte mit Standardabweichung

Gruppe A: Lagerung in Aqua bidest., fluoridiert							
<u>Probe/Tag</u>	1.	2.	4.	8.	14.	21.	28.
13	31,4	32,8	22,0	13,8	13,8	13,3	11,4
14	47,9	25,8	25,8	23,9	21,4	20,4	18,6
15	40,3	19,5	19,5	12,4	12,1	12,4	11,6
16	54,1	28,4	29,0	25,8	14,9	12,8	12,1
17	51,6	36,5	34,0	18,0	15,5	13,8	13,9
18	37,8	21,4	20,8	12,9	11,4	11,4	10,1
Mittelwert ohne Schmelzplättchen	43,8$\pm$8,8	27,4$\pm$6,5	25,2$\pm$5,6	17,8$\pm$5,8	14,8$\pm$3,6	14,0$\pm$3,2	13,0$\pm$3,0
19	37,8	22,1	16,8	13,9	12,8	12,8	10,1
20	50,4	27,6	21,8	16,1	15,9	15,2	13,9
21	42,1	20,8	18,3	15,6	14,6	14,5	11,4
22	62,1	32,1	29,0	22,9	18,5	14,6	14,6
23	49,8	23,4	22,0	20,9	14,9	12,6	11,6
24	54,1	35,3	33,8	15,5	14,1	11,9	11,9
Mittelwert mit Schmelzplättchen	49,4$\pm$8,6	26,9$\pm$5,8	23,6$\pm$6,5	17,5$\pm$3,5	15,1$\pm$1,9	13,6$\pm$1,3	12,2$\pm$1,7

Tabelle A2: Einzelmesswerte der Fluoridfreisetzung ($\mu\text{g}/\text{cm}_2$) und Mittelwerte mit Standardabweichung

Gruppe B: Lagerung in Aqua bidest. mit Pellikel, nicht fluoridiert							
<u>Probe/Tag</u>	1.	2.	4.	8.	14.	21.	28.
25	41,5	23,3	14,1	6,0	4,9	3,4	2,0
26	27,8	24,9	11,0	6,1	5,3	2,6	1,9
27	44,0	19,5	12,1	7,0	6,0	3,6	2,3
28	35,3	18,8	9,9	5,6	5,6	3,5	1,9
29	24,5	14,1	9,3	5,5	5,5	2,4	1,5
30	32,1	13,0	10,4	5,4	5,5	2,4	1,9
Mittelwert	34,2±7,6	18,9±4,7	11,1±1,8	5,9±0,6	5,5±0,4	3,0±0,6	1,9±0,2

Tabelle A3: Einzelmesswerte der Fluoridfreisetzung ($\mu\text{g}/\text{cm}_2$) und Mittelwerte mit Standardabweichung

Gruppe B: Lagerung in Aqua bidest. mit Pellikel, fluoridiert							
<u>Probe/Tag</u>	1.	2.	4.	8.	14.	21.	28.
31	41,4	34,6	20,0	13,4	10,9	8,3	8,3
32	37,8	25,5	16,8	12,6	9,1	8,8	7,4
33	34,0	21,9	14,5	12,9	10,4	9,5	9,6
34	34,0	30,9	22,0	17,5	17,6	9,6	8,3
35	28,0	20,9	16,3	15,6	14,6	10,0	7,1
36	44,0	29,0	16,6	15,1	16,1	11,4	10,0
Mittelwert	36,5±5,8	27,1±5,3	17,7±2,8	14,5±1,9	13,1±3,5	9,6±1,1	8,4±1,2

Tabelle A4: Einzelmesswerte der Fluoridfreisetzung ($\mu\text{g}/\text{cm}_2$) und Mittelwerte mit Standardabweichung

Gruppe C: Lagerung in künstlichem Speichel, nicht fluoridiert							
<u>Probe/Tag</u>	1.	2.	4.	8.	14.	21.	28.
37	19,1	9,6	7,8	3,0	2,4	1,6	1,6
38	24,1	9,0	4,9	3,0	2,0	1,1	1,1
39	26,6	6,8	4,1	2,4	2,0	1,1	1,0
40	21,1	8,1	3,9	2,6	1,4	0,9	0,9
41	23,1	6,3	3,8	1,9	1,1	0,6	0,8
42	18,9	9,9	3,8	3,5	1,3	1,0	0,9
Mittelwert	22,2±3,0	8,3±1,5	4,7±1,6	2,7±0,6	1,7±0,5	1,1±0,3	1,0±0,3

Tabelle A5: Einzelmesswerte der Fluoridfreisetzung ($\mu\text{g}/\text{cm}_2$) und Mittelwerte mit Standardabweichung

Gruppe C: Lagerung in künstlichem Speichel, fluoridiert							
<u>Probe/Tag</u>	1.	2.	4.	8.	14.	21.	28.
43	23,4	13,4	5,6	5,5	5,4	4,3	3,6
44	22,0	9,1	6,8	4,9	4,1	3,3	2,4
45	23,1	12,5	8,0	6,3	5,4	5,3	4,1
46	22,3	18,0	10,6	8,3	5,6	3,6	3,6
47	22,6	8,4	6,6	6,3	4,9	4,4	4,6
48	24,9	25,1	8,1	6,4	4,5	4,3	4,6
Mittelwert	23,0±1,1	14,4±6,3	7,6±1,7	6,3±1,1	5,0±0,6	4,2±0,7	3,8±0,8

Tabelle A6: Einzelmesswerte der Fluoridfreisetzung ($\mu\text{g}/\text{cm}_2$) und Mittelwerte mit Standardabweichung

Gruppe D: Lagerung in künstlichem Speichel mit Pellikel, nicht fluoridiert							
<u>Probe/Tag</u>	1.	2.	4.	8.	14.	21.	28.
49	13,1	5,1	3,8	2,1	1,6	1,1	0,4
50	18,9	9,3	6,0	2,9	2,0	1,1	0,4
51	15,5	7,1	4,4	2,3	2,0	1,8	0,4
52	14,9	6,0	4,9	1,9	1,9	1,3	0,8
53	17,4	6,6	5,1	2,8	2,0	1,6	0,3
54	20,4	6,4	4,4	2,0	1,3	1,6	0,3
Mittelwert ohne Schmelzplättchen	16,7$\pm$2,7	6,8$\pm$1,4	4,8$\pm$0,8	2,3$\pm$0,4	1,8$\pm$0,3	1,4$\pm$0,3	0,4$\pm$0,2
55	34,6	9,1	4,8	3,3	2,0	1,3	1,6
56	16,4	2,9	1,4	1,0	0,8	0,4	0,4
57	35,3	7,0	4,4	2,1	0,9	1,1	0,4
58	23,3	6,9	4,3	2,5	1,5	1,0	0,5
59	35,0	8,5	4,6	2,0	1,1	0,5	0,4
60	25,8	6,4	4,1	1,4	1,0	0,5	0,5
Mittelwert mit Schmelzplättchen	28,4$\pm$7,8	6,8$\pm$2,2	3,9$\pm$1,3	2,0$\pm$0,8	1,2$\pm$0,5	0,8$\pm$0,4	0,6$\pm$0,5

Tabelle A7: Einzelmesswerte der Fluoridfreisetzung ($\mu\text{g}/\text{cm}_2$) und Mittelwerte mit Standardabweichung

Gruppe D: Lagerung in künstlichem Speichel mit Pellikel, fluoridiert							
<u>Probe/Tag</u>	1.	2.	4.	8.	14.	21.	28.
61	12,4	11,1	9,4	8,5	7,1	4,1	1,8
62	10,6	6,0	5,1	3,6	3,0	2,8	3,1
63	17,8	11,5	8,1	5,6	4,3	3,4	2,4
64	16,3	12,5	10,1	8,1	6,8	4,8	3,4
65	9,9	10,0	7,0	8,0	5,3	5,1	2,5
66	14,6	11,0	8,0	5,6	5,6	5,0	4,8
Mittelwert ohne Schmelzplättchen	13,6$\pm$3,1	10,4$\pm$2,3	8,0$\pm$1,8	6,6$\pm$1,9	5,3$\pm$1,5	4,2$\pm$1,0	3,0$\pm$1,0
67	21,1	7,8	5,4	4,1	4,3	3,1	1,0
68	37,8	10,9	5,4	3,9	2,5	1,3	1,0
69	22,4	8,3	6,1	4,5	1,9	1,4	1,0
70	22,4	8,4	5,1	3,8	2,9	2,6	2,1
71	27,8	8,8	7,3	6,0	4,8	4,0	2,0
72	15,8	8,8	5,9	5,3	4,8	3,5	2,5
Mittelwert mit Schmelzplättchen	24,6$\pm$7,5	8,8$\pm$1,1	5,8$\pm$0,8	4,6$\pm$0,9	3,5$\pm$1,2	2,6$\pm$1,1	1,6$\pm$0,7

Tabelle A8: Einzelmesswerte der Fluoridfreisetzung ($\mu\text{g}/\text{cm}_2$) und Mittelwerte mit Standardabweichung

Schmelzplättchen Gruppe A, nicht fluoridiert					
	Testplättchen		Kontrollplättchen		
Probe	ppm F	Ätztiefe μ	ppm F	Ätztiefe μ	Differenz ppm F
7	1489,04	2,49	133,17	38,05	1355,87
8	472,06	13,27	94,48	45,49	377,58
9	339,76	16,21	68,21	41,7	271,55
10	446,5	3,52	76,74	38,21	369,76
11	190,75	41,48	77,78	41,74	112,97
12	158,21	49,49	114,12	41,25	44,09
Mittelwert	516,05 $\pm$ 493,6	21,08 $\pm$ 19,81	94,08 $\pm$ 25,16	41,07 $\pm$ 2,75	421,97 $\pm$ 477,0

Tabelle A9: Einzelmesswerte und Mittelwerte mit Standardabweichung des Fluoridgehaltes der Schmelzplättchen

Schmelzplättchen Gruppe A, fluoridiert					
	Testplättchen		Kontrollplättchen		
Probe	ppm F	Ätztiefe μ	ppm F	Ätztiefe μ	Differenz ppm F
19	1045,61	1,72	93,01	37,25	952,6
20	325,46	36,9	189,14	2,1	136,32
21	772,61	30,61	103,82	32,29	668,79
22	480,4	30,68	46,48	38,99	433,92
23	779,56	9,6	40,61	39,21	738,95
24	446,73	33,54	98,63	37,63	348,1
Mittelwert	641,72 $\pm$ 269,6	23,84 $\pm$ 12,65	95,28 $\pm$ 47,5	31,25 $\pm$ 14,5	546,45 $\pm$ 295,7

Tabelle A10: Einzelmesswerte und Mittelwerte mit Standardabweichung des Fluoridgehaltes der Schmelzplättchen

Schmelzplättchen Gruppe D, nicht fluoridiert					
	Testplättchen		Kontrollplättchen		
Probe	ppm F	Ätztiefe μ	ppm F	Ätztiefe μ	Differenz ppm F
55	369,11	24,33	187,89	35,05	181,22
56	81,66	46,76	52,69	47,02	28,97
57	190,83	37,02	93,58	37,37	97,25
58	207,64	40,48	82,06	43,38	125,58
59	195,16	41,01	72,46	39,02	122,7
60	220,61	41,74	176,95	39,84	43,66
Mittelwert	210,84 $\pm$ 92,18	38,56 $\pm$ 7,64	110,94 $\pm$ 54,42	40,28 $\pm$ 4,3	99,9 $\pm$ 56,56

Tabelle A11: Einzelmesswerte und Mittelwerte mit Standardabweichung des Fluoridgehaltes der Schmelzplättchen

Schmelzplättchen Gruppe D, fluoridiert					
	Testplättchen		Kontrollplättchen		
Probe	ppm F	Ätztiefe μ	ppm F	Ätztiefe μ	Differenz ppm F
67	1070,29	28,58	251,83	33,97	818,46
68	1757,93	36,65	163,4	42,81	1594,53
69	2254,33	35,36	49,53	45,28	2204,8
70	433,39	37,11	46,21	47,09	387,18
71	682,42	30,87	205,13	40,06	477,29
72	113,75	39,19	33,47	46,13	80,28
Mittelwert	1052 $\pm$ 769,56	34,63 $\pm$ 3,69	124,93 $\pm$ 94,09	42,56 $\pm$ 4,91	927,09 $\pm$ 812,5

Tabelle A12: Einzelmesswerte und Mittelwerte mit Standardabweichung des Fluoridgehaltes der Schmelzplättchen

DANKSAGUNG

Mein besonderer Dank gilt Herrn Professor Dr. U. Schiffner für die Überlassung des Themas zu dieser Arbeit und seine mir jederzeit gewährte hilfreiche Unterstützung.

Frau G. Schwope und Frau C. Bosch möchte ich für die stets aufmerksame und freundliche Betreuung im biochemischen Labor der Abteilung für Zahnerhaltungskunde/Präventive Zahnheilkunde der Universität Hamburg danken.

Für die Hilfe und Unterstützung am Computer danke ich meinem Freund Andres. Meinem Mann Christian danke ich für seine Geduld.

LEBENS LAUF

Name: Ilka Regel, geb. Grundmann
Geburtsdatum: 06. November 1972
Geburtsort: Rostock

Ausbildung

1979 – 1989	Polytechnische Oberschule	Ribnitz-Damgarten
1989 – 1991	Erweiterte Oberschule	Ribnitz-Damgarten
	Abschluss: Allgemeine Hochschulreife	
1991 – 1994	Ausbildung zur Zahnärzthelferin	Buxtehude
April 1994	Studium der Zahnmedizin	Hamburg
Wintersemester 1995	naturwissenschaftliche Vorprüfung	
Wintersemester 1997	zahnärztliche Vorprüfung	
Dezember 1999	Approbation als Zahnärztin	
02/2000 – 08/2000	Zahnärztin in der Praxis Dr. Freytag	Hamburg
09/2000 – 03/2003	Zahnärztin in der Praxis Dres. Schlemmer	Hamburg
April 2000	Studium der Humanmedizin	Hamburg
Sommersemester 2001	ärztliche Vorprüfung	
Sommersemester 2002	erster Abschnitt der ärztlichen Prüfung	