

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

**Vergleich der Fluoridfreisetzung aus drei fluoridhaltigen Kompositen und einem  
Glasionomerkement nach wiederholter wöchentlicher Applikation eines  
hochdosierten Fluoridgelees**

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

Vera Leisentriff  
aus Bockum-Hövel

Hamburg 2005

Angenommen vom Fachbereich Medizin  
der Universität Hamburg am:

13.01.2006

Veröffentlicht mit Genehmigung des Fachbereichs  
Medizin der Universität Hamburg

Prüfungsausschuss, der/die Vorsitzende:

Prof. Dr. U. Schiffner

Prüfungsausschuss: 2. Gutachter/in

Prof. Dr. H.-J. Gülzow

Prüfungsausschuss: 3. Gutachter/in

Prof. Dr. R.H. Böger

# Inhalt

	<b>Seite</b>
<b>1. Fragestellung und Arbeitshypothese</b>	1
<b>2. Literaturüberblick</b>	3
2.1 Ätiologie der Karies und Sekundärkaries	3
2.2 Fluoride und ihre Wirkungsweise	5
2.2.1 Anorganische Fluoride	7
2.2.2 Organisches Aminfluorid	8
2.3 Fluoridfreisetzende Füllungsmaterialien und ihre karieshemmende Wirkung	10
2.3.1 Glasionomerzemente	10
2.3.2 Kompomere	13
2.3.3 Hybridkomposite	15
2.3.4 Vergleich der Fluoridfreisetzung aus fluoridfreisetzenden Füllungsmaterialien	17
2.3.5 Effekte der Fluoridfreisetzung aus Füllungsmaterialien auf Zahnhartsubstanzen und Plaque	19
<b>3. Material und Methodik</b>	24
3.1 Materialien	24
3.1.1 Probekörper	24
3.1.2 Lösungen und Gelee	26
3.2 Methodik	28
3.2.1 Herstellung, Lagerung und Fluoridierung der Proben	28
3.2.2 Bestimmung der Fluoridfreisetzung	31
3.2.3 Statistische Auswertung	33
<b>4. Ergebnisse</b>	35
4.1 Fluoridfreisetzung aus den einzelnen Materialien	35
4.2 Vergleich der einzelnen Materialien	44
4.3 Ergebniszusammenfassung	48
<b>5. Diskussion</b>	50
5.1 Diskussion der Methodik	51
5.2 Diskussion der Ergebnisse	53
<b>6. Zusammenfassung</b>	58
<b>7. Literaturverzeichnis</b>	60
<b>Anhang</b>	76
<b>Publikationen</b>	89
<b>Danksagung</b>	90
<b>Lebenslauf</b>	91

## **1. FRAGESTELLUNG UND ARBEITSHYPOTHESE**

Fluoride haben eine zentrale Rolle in der präventiven Zahnheilkunde. Über die Wirkungsweise von Fluoriden sind zahlreiche Studien durchgeführt worden, die den hohen Stellenwert dieser Verbindungen für die Kariesprävention verdeutlichen. Bereits geringe Mengen an Fluorid sind ausreichend, um eine karieshemmende Wirkung zu erzielen, wobei durch Fluoride gleich mehrere Einzeleffekte erzielt werden. Zum einen kommt es an der Zahnoberfläche zu einer An- bzw. Einlagerung von Fluorid. Als Folge dessen vermindern Fluoride die Demineralisation und fördern gleichzeitig die Remineralisation des Schmelzes. Zum anderen haben Fluoride zusätzlich einen hemmenden Einfluss auf den Bakterienstoffwechsel.

Da es sich als sinnvoll erwiesen hat, möglichst häufig Fluorid anzuwenden, wurden Füllungsmaterialien entwickelt, die über einen längeren Zeitraum Fluorid abgeben können. Durch diese fluoridfreisetzenden Füllungsmaterialien kommt es am Füllungsrand zu einem erhöhten Angebot von Fluorid, wodurch der Entstehung einer Sekundärkaries entgegengewirkt werden kann.

In einer Vielzahl von Studien wurde bereits gezeigt, dass Glasionomerezemente Fluorid aus der Umgebung wieder aufnehmen und anschließend erneut an ihre Umgebung abgeben können. Auch bei Studien mit Kompomeren und Kompositen wurden ähnliche Beobachtungen gemacht. Besonders hoch ist die Fluoridabgabe kurz nach Applikation des Füllungsmaterials. Durch Zufuhr von Fluoriden aus einer fluoridhaltigen Zahnpaste wird wieder Fluorid vom Material aufgenommen, um dann wieder in die Umgebung freigesetzt zu werden. Allerdings ist das Wiederaufladungspotential bei Kompositen erheblich niedriger als bei den Glasionomerezementen. Über die "Fluoridwiederaufladung" durch Applikation hochkonzentrierter Fluoridzubereitung ist demgegenüber wenig bekannt.

Die vorliegende Studie soll überprüfen, inwiefern Kompomere und Komposite im Vergleich zu einem Glasionomerezement in der Lage sind, vor dem Hintergrund einer täglichen niedrigen Fluoridapplikation aus einem hochdosierten, lokal applizierten

Aminfluoridgelee Fluorid aufzunehmen und dieses wieder an ihre Umgebung abzugeben. Von besonderem Interesse ist dabei, ob es nach wiederholter Applikation zu einem additiven Effekt der Fluoridaufnahme und anschließend erhöhter Fluoridabgabe kommt.

Die mit der Untersuchung zu überprüfenden Hypothesen lauten:

1. Die Fluoridabgabe aus fluoridhaltigen Kompositen und Kompomeren kann, nachdem die der Füllungsapplikation unmittelbar folgende hohe Fluoridfreisetzung abgeklungen ist, durch Applikation eines hochkonzentrierten Fluoridgels wieder erhöht werden.
2. Dies trifft auch zu, wenn die Füllungsmaterialien täglich mit einer geringen Fluoridkonzentration in Kontakt kommen.
3. Auch nach Applikation des Gelees zeigt Glasionomerezement einen höheren Fluoridumsatz als Komposite.

## **2. LITERATURÜBERBLICK**

### **2.1 Ätiologie der Karies und Sekundärkaries**

Über die Kariesätiologie gibt es zahlreiche Studien. Die heute allgemein anerkannte chemo-parasitäre Theorie der Kariesentstehung wurde 1898 von *Miller* erstmals veröffentlicht und später von anderen Wissenschaftlern erweitert. Orale Mikroorganismen, die als Plaque auf der Zahnoberfläche angeheftet sind, produzieren bei der Verstoffwechslung niedermolekularer Kohlenhydrate organische Säuren, die bei einer ausreichenden Verweildauer in der Mundhöhle zu einer Entmineralisierung der Zahnhartsubstanz führen (*Hellwig et al. 1995*). Der Entstehung einer Karies liegt somit ein multikausales Geschehen zugrunde.

Die Demineralisation steht in einem dynamischen Gleichgewicht mit der Remineralisation. Die Demineralisation des Zahnschmelzes überwiegt, wenn der kritische pH-Wert von ca. 5,7 unterschritten wird. Dabei verdrängen die Protonen (Wasserstoffionen) in der Plaque das Kalzium aus dem Hydroxylapatit und reagieren mit den  $\text{OH}^-$ -Ionen zu Wasser. Zusätzlich werden dreiwertige  $\text{PO}_4^{3-}$ -Ionen in zweiwertige  $\text{HPO}_4^{2-}$ -Ionen und einwertige  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ -Ionen umgewandelt. Durch diese Prozesse wird die Gitterstruktur des Hydroxylapatits geschwächt und es entsteht ein deutlich löslicheres Mineral. Die Kalzium- und Phosphationen werden aus dem Schmelz gelöst und diffundieren in die Plaque (*Robinson 1995*).

Die Remineralisation ist ein natürlicher Reparatursprozess am Zahnschmelz, der von einer Reihe von Faktoren wie dem pH-Wert der Umgebung und der Anwesenheit ausreichender Mengen an Kalzium-, Phosphat- und Fluoridionen abhängig ist (*Larsen und Fejerskov 1989*). Bei der Remineralisation werden Kalzium-, Phosphat- und Fluoridionen in den Schmelz aufgenommen und erneut Schmelzkristallite gebildet, aus denen schließlich Fluorapatit/Hydroxylapatit-Mischkristalle entstehen.

Fluoride haben eine besondere Bedeutung in der Zahnheilkunde, da sie durch ihre Fähigkeit, Remineralisationsvorgänge am Schmelz zu fördern, auch bei nicht perfekter Mundhygiene der Kariesentstehung entgegenwirken (*Arends et al. 1984, ten Cate 1984*).

Eine Karies entsteht meistens an den schwer zu reinigenden Oberflächen eines Zahnes. Zu den sogenannten Prädilektionsstellen gehören die Approximalflächen, die Zahnfissuren und die Zahnhalsregion. Aber auch iatrogen geschaffene Prädilektionsstellen sind bei der Entstehung einer Karies von Bedeutung, da die an Füllungsrandern auftretenden Randspalten eine Nische für Mikroorganismen bilden, die ein Mikrobiotop mit Relevanz für die Genese einer Sekundärkaries darstellen können (*Buchmann et al. 1992*). Eine Karies, die an einer zahnärztlichen Restauration entsteht, bezeichnet man als Sekundärkaries. Sie besitzt alle histologischen Charakteristika kariöser Primärläsionen (*Hellwig et al. 1995*).

*Mjör (1981)* stellte fest, dass die häufigste Ursache für den Verlust einer Füllung die Entstehung einer Sekundärkaries ist, was *Kidd et al. (1992)* und *Mjör et al. (2002)* in weiteren Studien bestätigten. Untersuchungen von *Friedl et al. (1995)* zeigten, dass der Hauptgrund für die Erneuerung einer Kompositfüllung die Entstehung einer Sekundärkaries war, wobei größere Füllungen schneller ersetzt werden müssen als kleinere. Eine Studie von *Deligeorgi et al. (2001)* bestätigte diese Ergebnisse.

Um der Bildung einer Sekundärkaries entgegenzuwirken, wurden Füllungsmaterialien entwickelt, die Fluorid abgeben können. Zahlreiche Studien haben gezeigt, dass im Schmelz und im Dentin neben fluoridhaltigen Füllungsmaterialien erhöhte Fluoridkonzentrationen auftreten (*Retief et al. 1984, Forss und Seppä 1990, Forsten 1994, Strübig 1988, Benelli et al. 1993*).

## 2.2 Fluoride und ihre Wirkungsweise

Fluor ist neben Chlor, Brom, Jod und Astat im Periodensystem der Elemente in der Hauptgruppe der Halogene eingeordnet. Fluor kommt ubiquitär hauptsächlich in Verbindung mit Mineralien vor. Fluor steht an der 17. Stelle der Häufigkeit der Elemente und macht somit 0,03% der Erdkruste aus. Besonders hohe Konzentrationen befinden sich in vulkanischen Gebieten. Meere enthalten Fluoridkonzentrationen zwischen 1,0 und 2,7 ppm (*Gülzow 1995*).

Fluorid ist ein lebensnotwendiges Spurenelement, das in geringen Mengen und in Form von geeigneten Verbindungen mit der Nahrung bzw. dem Trinkwasser aufgenommen wird. Es spielt eine wichtige Rolle bei der Mineralisation des Organismus, insbesondere bei der Bildung von Hydroxylapatit und dem Knochenbau. Durch diese Affinität fällt dem Fluorid eine große Bedeutung für die Zahnbildung zu. Darüber hinaus ist der Fluoridgehalt des Zahnschmelzes von Bedeutung für dessen Säurelöslichkeit.

Fluoride spielen eine zentrale Rolle in der Kariesprophylaxe. In den Industrieländern ist es in den letzten Jahren zu einem erheblichen Kariesrückgang gekommen, was vor allem an der Anwendung fluoridhaltiger Zahnpasten liegt (*Marthaler et al. 1996*). Da in über 90% der heutigen Zahnpasten Fluorid enthalten ist, ist für einen großen Teil der deutschen Bevölkerung die fluoridhaltige Zahnpaste die wichtigste Fluoridquelle (*Gülzow 1995*). Die karieshemmende Wirkung ist dabei auf verschiedene Einzeleffekte zurückzuführen. So kommt es bei häufiger Anwendung bereits bei niedrigen Fluoridkonzentrationen zu einer Förderung der Remineralisation und zur Bildung einer Kalziumfluoriddeckschicht, die als Fluoridreservoir dienen kann (*Schiffner 2001*). Weitere verbreitete Fluoridquellen sind neben fluoridiertem Speisesalz Mundspüllösungen oder hochkonzentrierte Fluoridgelees.

Fluoride können entweder systemisch verabreicht oder lokal auf die Schmelzoberfläche aufgetragen werden. Während der präeruptiven Schmelzbildung und der präeruptiven Schmelzreifung wird Fluorid nach systemischer Gabe in das Kristallgitter des Hydroxylapatits eingebaut, wobei die Fluoridionen nicht nur vakante Stellen im



Kristallgitter besetzen, sondern auch in einer Substitutionsreaktion gegen OH<sup>-</sup>-Ionen ausgetauscht werden. Durch den Einbau von Fluorid wird die Kristallgitterstruktur stabiler und die Löslichkeit des Apatits herabgesetzt. Allerdings werden präeruptiv nur etwa 10% der Hydroxylionen des Apatits durch Fluorid ausgetauscht (*Hellwig et al. 1995*), und die klinische Auswirkung dieser präeruptiven Fluoridaufnahme wird heute gering eingeschätzt (*Schiffner 2001*).

Ein großer Teil des im Zahn vorhandenen Fluorids wird erst posteruptiv während der sekundären Schmelzreifung und später nach lokalen Fluoridierungsmaßnahmen auf und in der Zahnoberfläche abgelagert (*Hellwig et al. 1995*). Die lokale Fluoridapplikation ist für eine Kariesreduktion besonders wichtig, da Fluorid nicht nur Remineralisationsvorgänge am Schmelz fördert, sondern gleichzeitig mit in die Struktur des demineralisierten Schmelzes eingebaut wird, wodurch ein säureresistenterer Fluorapatit-Mischkristall entsteht (*Gülzow 1995, Hellwig et al. 1995*). Besonders hoch ist die Fluoridaufnahme in demineralisiertem Schmelz (*Attin et al. 2000*). Die Progression bereits vorhandener kariöser Schmelzläsionen lässt sich jedoch bei anhaltend kariogenen Bedingungen durch eine niedrig dosierte Fluoridapplikation nicht aufhalten (*Attin et al. 1992*).

Die karieshemmende Wirkung von Fluorid ist nicht nur auf Effekte an den Zahnhartsubstanzen beschränkt. Fluoride können modifizierend in die Adhärenz, das Wachstum und den Metabolismus von Plaquebakterien eingreifen. Fluorid nimmt besonderen Einfluss auf die bakterielle Glykolyse. Fluorid hemmt dabei die Aktivität der Enolase, einem magnesiumabhängigen Enzym, indem es mit Magnesium eine Verbindung eingeht. Durch die Hemmung der Enolase wird die Bildung von Phosphoenolpyruvat, das für den Transport von Glukose in die Bakterienzelle benötigt wird, gehemmt. Außerdem hemmt Fluorid die Bildung von Lipoteichonsäure und greift so hemmend in die Bakterienadhärenz ein (*Hellwig et al. 1995*).

Allerdings sind die verwendeten Fluoridkonzentrationen durchweg so niedrig, dass sie klinisch nur wenig auf den Metabolismus der säurefreisetzenenden Bakterien einwirken.

Somit spielen die antibakteriellen Effekte der Fluoride wahrscheinlich nur eine untergeordnete Rolle bei deren kariostatischem Wirken (*van Loveren 1990*).

### **2.2.1 Anorganische Fluoride**

Die am häufigsten zur Kariesprophylaxe verwendeten anorganischen Fluoride sind Natriumfluorid, Zinnfluorid und Natriummonofluorophosphat. Sie finden Anwendung in fluoridhaltigen Zahnpasten, Mundspüllösungen, Fluoridgelen und Fluoridlacken.

Natriumfluorid und Zinnfluorid gehören zur Gruppe der ionisch gebundenen Fluoride. Bei der Interaktion dieser Fluoride mit Zahnschmelz kommt es zu zwei Reaktionen:

1. Teile des Fluorids werden in das Kristallgitter des Apatits eingebaut. Dies ist insbesondere bei demineralisiertem Schmelz relevant.
2. Auf der Schmelzoberfläche entsteht die sogenannte Kalziumfluoriddeckschicht. Dabei reagieren Kalziumionen aus dem Zahnschmelz bevorzugt bei einem niedrigen pH-Wert mit dem Fluorid. Sinkt nun der pH-Wert durch bakterielle Säureproduktion, so geht diese Deckschicht wieder in Lösung und setzt dabei Kalzium- und Fluoridionen frei, die am Schmelz karieshemmend wirken. Zum regelmäßigen Wiederaufbau der Kalziumfluoriddeckschicht ist eine regelmäßige Fluoridapplikation notwendig.

Die karieshemmende Wirkung von Zinnfluorid ist gegenüber der von Natriumfluorid erhöht, da dank des Zinn-Ions zusätzlich zur Fluoridwirkung ein bakterienhemmender Effekt auftritt (*Gülzow 1995, Hellwig et al. 1995*).

Natriummonofluorophosphat ist eine kovalent gebundene Fluoridverbindung. Nach Applikation verläuft die Reaktion mit dem Zahnschmelz anders als bei ionischen Fluoriden. Es werden drei mögliche Reaktionsmechanismen diskutiert:

1. Monofluorophosphat diffundiert in den Zahnschmelz und wird gegen  $\text{PO}_4^{3-}$  ausgetauscht. Das Fluorid wird anschließend in einer sogenannten

Transpositionsreaktion zur Umwandlung von Hydroxylapatit in fluoridierten Hydroxylapatit herangezogen.

2. Direkter Austausch des inerten Monofluorphosphat-Moleküls ( $\text{FPO}_3^{2-}$ ) gegen  $\text{HPO}_4^{2-}$ .

3. Hydrolyse des Monofluorphosphats durch Speichel- und Plaqueenzyme bzw. Säuren und anschließende Reaktion der freien Fluoridionen mit dem Zahnschmelz, wie bei anderen ionischen Fluoriden.

Der Vorteil von Natriumfluoromonophosphat gegenüber Natriumfluorid liegt in der guten Kompatibilität mit allen gebräuchlichen Abrasivstoffen in Zahnpasten (*Gülzow 1995, Hellwig et al. 1995*), jedoch ist die karieshemmende Wirkung geringer als von Natriumfluorid (*Cahen et al. 1982*).

### **2.2.2 Organisches Aminfluorid**

Eine Sonderstellung unter den Fluoriden nehmen organische Aminfluoride ein, Verbindungen von Fluorid mit organischen Strukturen, die 1957 von *Mühlemann et al.* erstmals synthetisiert wurden. Die Amine sind als basische Körper in der Lage, mit Fluorwasserstoffsäure organische Salze zu bilden. Diese Salze weisen je nach Länge der Kohlenwasserstoffkette ein unterschiedliches Verhalten auf, wobei die für die Mundhöhle interessante Eigenschaft der Kationaktivität im Bereich von 8 bis 20 Kohlenstoffatomen liegt. Da diese Verbindungen wasserlöslich sind, kommt es gleichzeitig zu einer Herabsetzung der Oberflächenspannung des Wassers und damit zu benetzenden Eigenschaften (*Schmid 1981*).

Infolge des hohen Anteils organischer Substanzen im Aminfluorid bilden sich bei der Reaktion mit der Schmelzoberfläche anders strukturierte Deckschichten als mit Natriumfluorid. Über die polaren Amine kommt es dabei zu einer besseren Anbindung der Fluoride an die Zahnoberfläche, welche sich als längere Verweildauer zeigt (*Mühlemann et al. 1967*).

*Klinger und Wiedemann (1986)* konnten in einer In-vivo-Studie zeigen, dass eine initiale Schmelzläsion nach dreiwöchiger Aminfluoridanwendung nahezu vollständig remineralisiert wurde. *Chan et al. (1991)* zeigten, dass Aminfluorid sowohl die Fluoridaufnahme als auch die Fluoridretention bei einer beginnenden Schmelzkaries steigert. Eine einzelne Applikation eines hochdosierten Aminfluorids bewirkt bereits eine Remineralisation (*Buchalla et al. 2002*).

*Gülzow und Lang (1967)* stellten fest, dass es durch eine einmalige dreiminütige Touchierung des Zahnschmelzes mit einer 1%igen Aminfluoridlösung zu einer Reduktion der Säurelöslichkeit des Zahnschmelzes von 34% kommt. *Gülzow (1968)* konnte zeigen, dass dieser Effekt über einen langen Zeitraum aufrecht erhalten wird, da diese Wirkung des Aminfluorides nach etwa zwei Monaten erst auf die Hälfte des Ausgangswertes abgesunken war.

Im Vergleich zu Natriumfluorid und Fluorsilikat führt die Verwendung von Aminfluorid zu höheren und zugleich stabileren Fluoridverbindungen nicht nur auf, sondern auch im Zahnschmelz (*Strübig 1983*). Die Fluoridkonzentration im Zahnschmelz ist nach der Verwendung von aminfluoridhaltiger Zahnpaste in Abhängigkeit von der Fluoridkonzentration der Paste erhöht (*Barbakow et al. 1986*). Klinisch spielt auch die Häufigkeit der Fluoridierung bei der Fluoridanreicherung im Zahnschmelz eine Rolle, wobei mit zunehmender Anzahl der Applikation die Fluoridkonzentration im Zahnschmelz ansteigt (*Sener-Zanola et al. 1984*). Entsprechendes wurde auch für die Anwendung von Aminfluorid am Dentin gezeigt (*Hellwig 1992*).

Aminfluoride haben jedoch nicht nur Einfluss auf die Fluoridkonzentration der Zahnhartgewebe, sondern erschweren zusätzlich die bakterielle Besiedelung des Zahnes und greifen in den Bakterienstoffwechsel ein. Die langkettigen Aminfluoride senken als Detergenzien die Oberflächenspannung des Speichels und bilden an Oberflächen monomolekulare Filme, die am Zahnschmelz in der Lage sind, die Adhäsion der Mikroorganismen zu erschweren (*Shern et al. 1970, Balmelli et al. 1974*). Auch in einer

Untersuchung von *Embleton et al. (1998)* wurde gezeigt, dass Biofilme sich schlechter an Aminfluoriden etablieren können.

*Lüschner et al. (1974)* stellten fest, dass Aminfluorid einen hemmenden Einfluss auf die Streptokokkenflora und somit einen kariostatischen Effekt hat. *Mühlemann und Strub (1975)* belegten, dass nach vierwöchigem Spülen mit einer 0,025%igen Aminfluoridlösung das Plaquewachstum um 21,5 % gehemmt wurde. In einer Studie von *Gehring (1983)* wurde die antibakterielle Wirkung der Aminfluoride auf *Streptococcus mutans* bestätigt. Es konnte gezeigt werden, dass Aminfluoride im Gegensatz zu Natriumfluorid eine bakterizide Wirkung auf Plaquebakterien besitzen, die mit einer deutlichen Verminderung der bakteriellen Säureproduktion einhergeht. Dabei besitzt der Aminteil der Aminfluoride eigene antibakterielle Eigenschaften.

Durch eine Untersuchung von *Shani et al. (2000)* wurde der antikariogene Effekt von Aminfluorid sowohl in Lösung als auch in Biofilmen gezeigt, wobei die Lebensfähigkeit von *Streptococcus sobrinus* in Biofilmen abnimmt, wenn die Konzentration von Aminfluorid zunimmt. Konzentrationen von 0,1 mMol führen zu einer Hemmung der Glykosyltransferase.

Das am häufigsten verwendete Aminfluorid ist Olafluor, das Bestandteil aller elmex®-Präparate ist. elmex® gelée und elmex® fluid enthalten zusätzlich das Aminfluorid Dectafluor.

## **2.3 Fluoridfreisetzende Füllungsmaterialien und ihre karieshemmende Wirkung**

### **2.3.1 Glasionomerzemente**

Glasionomerzemente sind Verbindungen aus Polyalkensäure und Aluminium-Silikatgläsern, die 1972 durch *Wilson und Kent* in die Zahnheilkunde eingeführt wurden.

Durch Mischen der beiden Bestandteile im wässrigen Milieu erfolgt die Aktivierung der Härtingsreaktion, bei der das Material durch eine Säure-Base-Reaktion der Polyalkensäure mit den Aluminium-Silikatgläsern abbindet. Der abgebundene Zement besteht aus Glaspartikeln mit einer umgebenden Schicht aus Silikatgel in einer anionischen Polyacrylatmatrix (Eichner 1988). Die Härtingsreaktion der Glasionomerzemente erfolgt in zwei Phasen. In der primären Härtingsphase erfolgt die Vernetzung der Polyalkensäure über Kalziumionen. In der sekundären Härtingsphase werden die Kalziumionen durch Aluminiumionen ersetzt. Durch die höhere Anzahl der Bindungsstellen am Aluminiumion im Vergleich zum Kalziumion härtet die Struktur weiter aus.

Durch den Gehalt von Kalziumionen in den Zahnhartsubstanzen können diese ebenfalls mit der Polyalkensäure reagieren, wobei eine Kalziumphosphat-Polyalkenoat-Struktur zwischen der Zahnoberfläche und dem abbindenden Zement entsteht. Glasionomerzement geht somit eine chemische Bindung mit den Zahnhartsubstanzen ein. Die Bindungsstärke der Polyalkensäure am Zahnschmelz ist aufgrund der höheren anorganischen Anteile größer als die Bindung zwischen Polyalkensäure und Dentin.

Indikationsbereiche für Glasionomerzemente liegen hauptsächlich in der Kinderzahnheilkunde bei der Milchzahnversorgung und in der konservierenden Zahnheilkunde bei der Versorgung einer Wurzelkaries. Für eine definitive Versorgung von kaulasttragenden Seitenzähnen sind Glasionomerzemente aufgrund ihrer physikalischen Eigenschaften nicht geeignet. Im Vergleich zu Hybridkompositen zeigen sie eine deutlich verminderte Bruch-, Abrasions- und Druckfestigkeit (Attin et al. 1996). Eine weitere Einschränkung besteht durch die unbefriedigenden ästhetischen Eigenschaften, weshalb eine Indikation für den sichtbaren Frontzahnbereich nicht gegeben ist.

Die herausragende Eigenschaft der Glasionomerzemente liegt in der lang andauernden Freisetzung von Fluorid, die sowohl in vitro (Strübig 1988, Forsten 1990, 1991 und 1994, Garcia-Godoy und Chan 1991, Benelli et al. 1993) als auch in vivo (Koch und Hatibovic-Kofman 1990, Hatibovic-Kofman und Koch 1991) nachgewiesen wurde. Die

maximale Fluoridfreisetzung wird dabei in den ersten 24 Stunden nach dem Aushärten der Füllung erreicht, anschließend sinkt die Fluoridfreisetzung rasch auf ein relativ stabiles Niveau ab (*Forsten 1990, Creanor et al. 1994, Hörstedt-Bindslev und Larsen 1990*).

Die Fluoridfreisetzung aus Glasionomerzementen wird durch verschiedene Faktoren beeinflusst. So vermindern Oberflächenversiegeler die Fluoridfreisetzung (*Castro et al. 1994*) genauso wie Lacke, die nach dem Legen der Füllung auf die Oberfläche aufgetragen werden (*McNight-Hanes und Whitford 1992*). Die Autoren wiesen in dieser Studie eine Reduktion der Fluoridfreisetzung von 61 – 76 % nach.

Auch das umgebende Medium hat Einfluss auf die Fluoridfreisetzung. In deionisiertem Wasser wird signifikant mehr Fluorid freigesetzt als in künstlichem Speichel, in einem sauren Medium ist die Fluoridfreisetzung im Vergleich zu neutralen Lösungen erhöht, und auch hydrolytische Esterasen führen zu einer vermehrten Fluoridfreisetzung (*El Mallakh und Sarkar 1990, Forsten 1990, Rezk-Lega et al. 1991, Glockmann et al. 1997, Geurtsen et al. 1998*). Die erhöhte Fluoridfreisetzung bei einem niedrigeren pH-Wert ist auf das Anlösen der Oberfläche und das damit verbundene Anlösen von Glaspartikeln an der Oberfläche zurückzuführen.

In zahlreichen Studien wurde belegt, dass Glasionomerzemente auch in der Lage sind, Fluorid wieder aufzunehmen und dieses wieder an ihre Umgebung abzugeben, weshalb Glasionomerzement auch als Reservoir für eine langsame und kontinuierliche Fluoridfreisetzung dienen kann (*Koch und Hatibovic-Kofman 1990, Creanor et al. 1994, Hatibovic-Kofman et al. 1994, Forsten 1995*). Das Material hat auch nach längerer intraoraler Verweildauer noch das Potential, Fluorid auf- und anschließend wieder abzugeben (*Damen et al. 1999*).

Allerdings hängt auch die Wiederaufnahme von Fluorid von verschiedenen Faktoren ab. Die Fluoridkonzentration des umgebenden Mediums hat neben der Viskosität des verwendeten fluoridhaltigen Produkts Einfluss auf die Wiederaufnahme und die anschließende erneute Fluoridfreisetzung der Glasionomerzemente. Je höher die

Fluoridkonzentration einer Spüllösung ist, umso mehr Fluorid wird vom Glasionomerzement aufgenommen und wieder abgegeben (*Takahashi et al. 1993, Creanor et al. 1995*).

Durch einen niedrigen pH-Wert wird auch die Fluoridaufnahme in den Glasionomerzement gefördert (*El-Badrawy et al. 1993*). Allerdings kann es durch einen niedrigen pH-Wert zu einer Anlösung der Materialoberfläche kommen, die wiederum zu einer vermehrten Plaqueretention führt. Diese vermehrte Plaqueretention steht dem kariostatischen Effekt der Fluoridfreisetzung aus Glasionomerzement entgegen (*Diaz-Arnold et al. 1995*).

Speichel und Pellikelbildung haben einen reduzierenden Einfluss auf die Fluoridaufnahme und anschließende -wiederabgabe aus Glasionomerzement, was *Damen et al. (1996 und 1999)* sowie *Schiffner et al. (2004)* belegten. Die verminderte Fluoridaufnahme ist vor allem auf die Bildung des Pellikels und die anheftende Plaque zurückzuführen, da diese eine Diffusionsbarriere bzw. einen Speicherort für das Fluorid darstellen.

### **2.3.2 Kompomere**

Bei den Kompomeren, die auch als polyalkensäuremodifizierte Komposite bezeichnet werden, versuchte man, die positiven Eigenschaften der Glasionomerzemente mit denen der Komposite zu verbinden. Kompomere sind ein Kombinationsprodukt aus Glasionomerzementen und Kompositen, bei denen die Polyalkensäure des Glasionomerzements durch ein saures Monomer ersetzt wird, das die reaktive Carboxylgruppe der Glasionomerzemente enthält. Neben der Verbesserung der physikalischen Eigenschaften gegenüber den Glasionomerzementen stand auch die Fluoridfreisetzung im Blickpunkt des Interesses.



Da es sich bei den Kompomeren um ein Kombinationsprodukt aus den zwei o.g. Materialklassen handelt, läuft auch die Härtingsreaktion als Kombinationsreaktion ab. Die primäre Härtingsreaktion wird wie bei den Kompositen durch eine radikalische Lichtpolymerisation ausgelöst. Dabei werden die Glasfüllkörper in das entstehende dreidimensionale Polymerisations-Netzwerk der Monomere eingelagert. Die sekundäre Härtingsreaktion läuft wie bei den Glasionomernzementen als Säure-Base-Reaktion ab, die durch die Aufnahme von Wasser induziert wird. Carboxylgruppen aus dem Polymernetzwerk reagieren mit den Glaspartikel.

Auch die bei Kompomeren verwendeten Glasfüllkörper enthalten Fluorid. Die Fluoridfreisetzung aus Kompomeren wurde in zahlreichen Studien bereits nachgewiesen, wobei sie immer niedriger ausfiel als die Fluoridfreisetzung aus Glasionomernzementen (*Attin et al. 1996 und 1999, Bala et al. 1997, Glockmann et al. 1997, Schiffner und Knop 1997, Millar et al. 1998, Shaw et al. 1998, Peng et al. 2000, Gao und Smales 2001, Yap et al. 2002*).

Die Fluoridfreisetzung aus Kompomeren unterliegt ähnlich wie die aus den Glasionomernzementen verschiedenen Faktoren. *Attin et al. (1996 und 1999)* zeigten, dass Kompomere in einem sauren Milieu signifikant mehr Fluorid abgeben als in einer neutralen Lösung. Durch den niedrigen pH-Wert entstehen an der Oberfläche des Kompomers Mikrodefekte, die zu einer höheren Oberflächenrauigkeit führen (*Yip et al. 2001*).

*Nicholson et al. (1999)* wiesen nach, dass Kompomere in der Lage sind, den pH-Wert der umgebenden sauren Lösung geringfügig zu erhöhen. Die Autoren konnten für das Kompomer Hytac® eine höhere Säureresistenz nachweisen als für die anderen Kompomere.

*Itota et al. (2001)* untersuchten, inwiefern Adhäsive Einfluss auf die Fluoridfreisetzung aus Kompomeren haben und stellten dabei keinen inhibitorischen Effekt auf die Fluoridfreisetzung bei der Verwendung von Bis-GMA-freien Adhäsiven fest.

Auch Kompomere sind in der Lage, Fluorid aus wässriger Umgebung wieder aufzunehmen und so als Fluoridspeicher zu wirken (*Peng et al. 2000, Preston et al. 2003*).

Kompomere gelten heute als Standardmaterial in der Kinderzahnheilkunde, da eine einfache Handhabung, zufriedenstellende physikalische Eigenschaften, dank der Anwendung mit Dentinadhäsiven eine gute Haftung am Zahn und eine langandauernde Fluoridfreisetzung mit diesem Material verbunden sind.

### **2.3.3 Hybridkomposite**

Komposite haben in der heutigen konservierenden Zahnheilkunde einen hohen Stellenwert, da sie aufgrund ihrer guten ästhetischen Eigenschaften hervorragend für den Frontzahnbereich geeignet sind und durch verbesserte physikalische Eigenschaften auch im Seitenzahnbereich Anwendung finden. Feinpartikelhybridkomposite haben aufgrund ihrer guten physikalischen und ästhetischen Eigenschaften einen Indikationsbereich für Füllungen der Klasse I-V. Die drei Hauptbestandteile moderner Komposite sind die organische Matrix, die disperse anorganische Phase und die Verbundphase.

Die organische Matrix besteht im nicht ausgehärteten Zustand aus Monomeren, wobei es sich meistens um multifunktionelle Methacrylate handelt, Initiatoren, Stabilisatoren, Farbstoffen, Pigmenten und anderen Additiven. Durch die Initiatoren, die bei entsprechender chemischer oder physikalischer Aktivierung in Radikale zerfallen, wird die Polymerisation des Materials eingeleitet. Dabei reagieren die Radikale mit den Doppelbindungen der Monomere und bilden Polymerketten.

Die disperse, anorganische Phase wird durch die Füllstoffe charakterisiert. Durch den Zusatz von anorganischen Füllern sollen die Druck- und Zugfestigkeit, das Elastizitätsmodul und die Verschleißfestigkeit des Materials verbessert werden. Als

anorganische Füllstoffe werden Quarz, Keramik und Siliziumdioxid verwendet. Die anorganische Phase der Hybridkomposite besteht aus ca. 85-90 Gew.% an Makrofüllern und zu 10 - 15 Gew.% aus Mikrofüllern. Insgesamt kann der Füllkörpergehalt moderner Hybridkomposite auf bis zu 85 % gesteigert werden, woraus hervorragende physikalische Eigenschaften resultieren (*Hellwig et al. 1995*).

Die Verbundphase besteht aus Silanen, die sowohl mit den organischen als auch mit den anorganischen Bestandteilen reagieren können, und ist somit verantwortlich für die Verbindung zwischen den anorganischen Füllkörpern und der organischen Matrix (*Hellwig et al. 1995*).

Da Komposite keine Verbindung zu den Zahnhartsubstanzen eingehen können, ist die Verwendung der Säure-Ätz-Technik obligatorisch. Da es bei der Aushärtung von Kompositen ohne sichere Verankerung an der Zahnhartsubstanz zu einer Polymerisationsschrumpfung von ca. 3% kommt (*Soltész 1998 und 2004*) besteht auch bei sorgfältiger Verarbeitung mit Hilfe der Säure-Ätz-Technik das Risiko einer Randspaltbildung. Vor diesem Hintergrund wurden Komposite mit fluoridhaltigen Füllstoffen entwickelt, damit im Falle einer Randspaltbildung ein erhöhtes Fluoridangebot der Entstehung einer Sekundärkaries entgegenwirken kann.

Die Fluoridfreisetzung aus Kompositen wird in der Literatur kontrovers diskutiert. Während in einer Vielzahl von Studien die Fluoridfreisetzung aus Kompositen belegt wurde (*Dijkman et al. 1993, Takahashi et al. 1993, Young 1996, Kawai et al. 1997 und 1998, Preston et al. 1999, Weidlich et al. 2000, Vermeersch et al. 2001, Asmussen und Peutzfeldt 2002, Attar und Önen 2002, Han et al. 2002*), fanden *Donly und Nelson (1997)* keine signifikante Fluoridfreisetzung aus Kompositen. In allen Studien mit nachgewiesener Fluoridfreisetzung war diese produktabhängig und im Vergleich zu Glasionomerzementen signifikant niedriger. Auch bei den Kompositen ist die initiale 24-Stunden-Fluoridfreisetzung am höchsten, danach sinkt die Fluoridfreisetzung rasch auf ein stabiles Niveau ab.

*Cohen et al. (1998)* zeigten, dass hochvisköse Komposite weniger Fluorid abgeben als niedrigvisköse Flow-Präparate. *Buchalla et al. (1998)* führten eine vergleichende Untersuchung zweier Komposite in vitro und in situ durch. Zwischen den In-vitro- und In-situ-Fluoridfreisetzungen gab es keine signifikanten Unterschiede. Die Fluoridexposition der hydroxylapatithaltigen Füllkörper führte im Vergleich zu einem Komposit mit ytterbiumfluoridhaltigen Füllkörpern nicht zu einer Fluoridanreicherung mit anschließend erhöhter Fluoridabgabe.

In diversen Studien wurde zudem gezeigt, dass Komposite ein Potential für die Wiederaufladung mit Fluorid besitzen, wobei die Menge des wieder aufgenommenen und anschließend erneut abgegebenen Fluorids signifikant geringer ist als bei Glasionomerzementen (*Preston et al. 1999, Weidlich et al. 2000, Attar und Önen 2002, Han et al. 2002, Young et al. 1996*).

*Han et al. (2002)* konnten zusätzlich zeigen, dass die Wiederaufnahme von Fluorid von der Fluoridkonzentration der angewendeten Fluoridlösung und den funktionellen Füllstoffen der Materialien abhängt.

#### **2.3.4 Vergleich der Fluoridfreisetzung aus fluoridhaltigen Füllungsmaterialien**

Bei vergleichenden Untersuchungen zur Fluoridfreisetzung aus den auch in dieser Studie verwendeten Materialien Glasionomerzement, Kompomer und Komposit wurde deutlich, dass Glasionomerzemente wesentlich mehr Fluorid abgeben als Kompomere, welche wiederum eine höhere Bereitstellung von Fluorid zeigen als Komposite. Dabei nimmt die Fluoridfreisetzung bei allen Materialien mit der Zeit ab (*Takahashi et al. 1993, Young et al. 1996, Bala et al. 1997, Shaw et al. 1998, Strother et al. 1998, Vermeersch et al. 2001, Asmussen und Peutzfeldt 2002*).

Glasionomerzement zeigt v.a. initial eine hohe Fluoridfreisetzung, die rasch auf ein niedriges Niveau abfällt. Nach 6 Monaten ist kein signifikanter Unterschied zwischen

der Fluoridfreisetzung aus einem Glasionomerzement und aus einem Kompomer zu erkennen (*Shaw et al. 1998*).

*Asmussen und Peutzfeldt (2002)* zeigen in einer dreijährigen Studie, dass Glasionomerzement zwar über den gesamten Zeitraum am meisten Fluorid abgibt, doch nach etwa einem Jahr gleicht sich das Niveau der Fluoridfreisetzung aus Glasionomerzementen dem der Kompomere an. Lediglich zu den Kompositen bestand über die gesamte Versuchsdauer ein signifikanter Unterschied zugunsten des Glasionomerzements und des Kompomers.

Auch die Wiederaufnahme und anschließende erneute Abgabe von Fluorid aus den drei Materialklassen wurde in vergleichenden Studien belegt. Dabei war das Potential der Fluoridaufnahme beim Glasionomerzement am höchsten, Kompomere konnten mehr Fluorid wieder aufnehmen als Komposite (*Young et al. 1996, Preston et al. 1999, Schiffner und von Bröckel 1999, Peng et al. 2000, Weidlich et al. 2000, Attar und Önen 2002, Han et al. 2002, Preston 2003*).

Ausschlaggebend für die Menge des aufgenommenen Fluorids ist die Konzentration des Fluoridierungsmittels, wobei eine höhere Fluoridkonzentration des Mediums eine erhöhte Fluoridfreisetzung bedingt (*Han et al. 2002*)

Da die verwendeten Fluoridierungsprodukte einen niedrigen pH-Wert aufweisen, werden oberflächlich Bestandteile aus den Füllungsmaterialien gelöst, was mit der Höhe der Fluoridfreisetzung korreliert. Glasionomerzemente sind weniger säureresistent als Kompomere, die wiederum weniger säureresistent sind als Komposite (*Nicholson et al. 1999, Yip et al. 1999, Gao und Smales 2001, Yip et al. 2001*).

Das in dieser Studie verwendete Komposit Solitaire® enthält poröse Füllkörper, die sowohl die physikalischen Eigenschaften in Bezug auf die Festigkeit des Materials verbessern als auch die Freisetzung von Fluorid begünstigen (*Rzanny und Welker 1998*). Das Komposit Degufill® mineral wurde unter dem Gesichtspunkt verbesserter Fluoridfreisetzung entwickelt. Das Komposit enthält als Füllstoff chemisch

modifiziertes Fluorapatit, das bei sinkendem pH-Wert Fluoridionen in das Mundmilieu abgibt. Dieser Füllstoff ist auch in der Lage, durch geeignete Fluoridierungsmittel erneut Fluorid aufzunehmen und somit als Fluoridreservoir zu dienen, was zu einer langfristigen Vermeidung einer Sekundärkaries beitragen soll (*Rentsch und Kühner 1997, Staudt-Hockmann 1997*).

### **2.3.5 Effekte der Fluoridfreisetzung aus Füllungsmaterialien auf Zahnhartsubstanzen und Plaque**

#### Effekte an Schmelz und Dentin

Für Glasionomerzemente wurde in einer Vielzahl von Studien nachgewiesen, dass es in den angrenzenden Zahnhartsubstanzen zu einer Erhöhung der Fluoridkonzentration kommt (*Strübig 1988, Forss und Seppä 1990, Fischer-Brandies et al. 1991, Mukai et al. 1993, Wandera 1998, Hotta et al. 2001*).

Durch die Erhöhung der Fluoridkonzentration im Zahnschmelz an Glasionomerzementfüllungen kommt es zu einer Hypermineralisation, was zu einer erhöhten Demineralisationsresistenz führt (*ten Cate und van Duinen 1995, Wandera 1998*). Auch an benachbarten Zähnen kann Glasionomerzement die Demineralisation hemmen (*Forss und Seppä 1990, Donly et al. 1999*).

Andererseits stellten *Seppä et al. (1992)* fest, dass zwei bis vier Wochen nach der Applikation einer Glasionomerzementfüllung im benachbarten Zahnschmelz keine erhöhte Fluoridkonzentration mehr vorhanden war, wobei auch die Fluoridkonzentration der aufgelagerten Plaque mit diesem Ergebnis korrelierte.

In einer weiteren Studie von *Seppä (1994)* wurde ein ähnliches Ergebnis gezeigt. Der zu Beginn der Untersuchung festgestellte hemmende Effekt der Fluoridfreisetzung auf die Demineralisation von Zahnschmelz war nach einer Studiendauer von vier Wochen nicht mehr nachzuweisen. Erst durch eine Fluoridapplikation und die damit verbundene

erneute Fluoridfreisetzung konnte die Reduktion der Demineralisation wieder ausgelöst werden.

Die Fluoridfreisetzung aus Glasionomerzement fördert die Remineralisation einer initialen kariösen Läsion im Zahnschmelz, wobei der größte Einfluss in der ersten Woche nach dem Legen der Füllung zu beobachten ist. Es kommt dabei sowohl zu einer quantitativen Reduktion der Karies, indem die Ausdehnung reduziert wird, als auch zu einer qualitativen Reduktion der Karies, was durch eine Verminderung der Porengröße im Schmelz verdeutlicht wird (*Hatibovic-Kofman et al. 1997*).

Auch in Dentin wird das aus Glasionomerzement freigesetzte Fluorid eingebaut und führt dort zu einer erhöhten Säureresistenz (*Tsanidis und Koulourides 1992*). Glasionomerzemente zeigen über eine Dauer von zehn Wochen eine Freisetzung von Fluorid, welches immer tiefer in das Dentin eingebaut wird. Dadurch wird die Resistenz des Dentins gegen die Bildung einer Läsion an der Kavitätenwand erhöht (*Tam et al. 1997*). Die erhöhte Säureresistenz im Dentin führt entsprechend in vitro zu einer Inhibition einer Karies (*Dunne et al. 1996*).

Darüber hinaus können Glasionomerzemente zu einer partiellen Erhärtung von bereits kariös erweichtem Dentin führen (*Weerheijm et al. 1993*).

Auch fluoridfreisetzende Komposite bewirken eine Aufnahme von Fluorid in die Zahnhartsubstanzen, wodurch die Säureresistenz dieser Strukturen erhöht wird. *Arends et al. (1990)* zeigten, dass in direkter Nähe zu einem fluoridfreisetzenden Komposit nach dem Einwirken 35%iger Säure eine geringere Demineralisation erkennbar war als an nicht gefüllten Stellen des Zahnes. Dabei reduzierten fluoridfreisetzende Komposite die Läsionstiefe und den Mineralverlust des umgebenden Schmelzes um 30%. *Dijkman und Arends (1992)* bestätigten dieses Ergebnis in einer weiteren Studie. Dabei zeigten die Materialien einen größeren remineralisierenden Effekt in der Läsion als am intakten Oberflächenschmelz. Es konnte gezeigt werden, dass fluoridfreisetzende Komposite die Läsionstiefe um 27-45% verringern und gleichzeitig den Mineralverlust um 25-56% reduzieren. Weitere Arbeiten bestätigten den in der Reihenfolge Glasionomerzement –

Kompomer – Komposit abnehmenden karieshemmenden bzw. remineralisationsfördernden Effekt (*Mayer et al. 1996, Dionysopoulos et al. 1998, Millar et al. 1998, Pereira et al. 1998*).

*Kawai et al. (1997 und 1998)* konnten zeigen, dass die Fluoridaufnahme der Zahnhartsubstanzen aus fluoridfreisetzenden Komposite produktabhängig ist. Während für die Komposite Fluor Ever und Fluoro Core eine Fluoridaufnahme bestätigt wurde, konnte für Pertac Hybrid dieser Effekt nicht nachgewiesen werden.

Bei einem Vergleich der Fluoridaufnahme aus Kompositen in die Zahnhartsubstanzen stellten *Yamamoto et al. (2001)* keinen signifikanten Unterschied zwischen der in vitro und in vivo gemessenen aufgenommenen Fluoridmenge fest.

Auch ins Dentin wird Fluorid aus fluoridhaltigen Kompositen aufgenommen. Das aus Kompositen freigesetzte Fluorid penetriert dabei nicht so tief ins Dentin wie das aus Glasionomerzement stammende Fluorid (*Hotta et al. 2001*)

Die Verwendung fluoridhaltiger Adhäsive fördert zusätzlich die Säureresistenz der Zahnhartsubstanzen (*Han et al. 2001 und 2002*) und kann so den hemmenden Effekt auf die Demineralisation begünstigen.

Einige Arbeiten verglichen unter dem speziellen Gesichtspunkt der Sekundärkarieshemmung die Eigenschaften von Glasionomerzementen, Kompomeren und Kompositen. *Torii et al. (2001)* stellten fest, dass alle drei Materialgruppen das Potential haben, die Entstehung einer Sekundärkaries zu vermindern, wobei Glasionomerzement einen größeren positiven Effekt erzielt als die anderen Materialien. Diese Ergebnisse wurden von *Attar und Önen (2002)* bestätigt.

Dagegen führte die In-situ-Untersuchung von *Kielbassa et al. (2003)* zu einem anderen Ergebnis. Die Autoren stellten fest, dass weder Glasionomerzemente noch Kompomere oder fluoridfreisetzende Komposite eine initiale Demineralisation direkt an der Restauration reduzieren.



*Papagiannoulis et al. (2002)* verglichen in vitro und in vivo die Sekundärkarieshemmung von Glasionomerzement und Komposit. Dabei kam es in vivo an Glasionomerzementfüllungen, die nicht spaltfrei der Zahnhartsubstanz anlagen, sogar zu einer signifikant größeren Läsion als an Kompositfüllungen, die ebenfalls einen Randspalt aufwiesen. Somit konnte hier der kariesprotektive Effekt von Glasionomerzement in vivo nicht bestätigt werden.

Beachtet werden muss auch die Übersichtsarbeit von *Randall und Wilson (1999)*. Die Autoren stellten 28 Untersuchungen über die Karieshemmung von Glasionomerzementen zusammen, die alle über eine ähnliche Methodik verfügten, und verglichen die Ergebnisse miteinander. Als Fazit konnte gezeigt werden, dass in der Literatur keine Einigkeit darüber besteht, ob Glasionomerzemente tatsächlich die Entstehung einer Sekundärkaries verhindern können. So wird sowohl über die karieshemmende Wirkung als auch über die nicht karieshemmende Wirkung von Glasionomerzementen berichtet.

#### Effekte an Plaquebakterien

Neben Effekten an Schmelz und Dentin können fluoridhaltige Füllungsmaterialien auch Wirkungen auf die bakterielle Plaque aufweisen.

*Forss et al. (1991)* zeigten in ihrer Untersuchung, dass der Fluoridgehalt in der Plaque auf Glasionomerzement wesentlich höher ist als in der Plaque auf Komposit. In der dem Glasionomerzement aufgelagerten Plaque kommt es zu einer Reduktion von *Streptococcus mutans*, was mit den Ergebnissen von *Svandberg et al. (1990)* und *Berg et al. (1990)* übereinstimmt. In einer weiteren Studie untersuchten *Forss et al. (1995)* die Fluoridkonzentration der Plaque auf alten Glasionomerzementen. Dabei war der Fluoridgehalt zwar noch geringfügig erhöht, was jedoch keinen signifikanten Effekt auf die kariogene Mikroflora hat.

*Friedl et al. (1992 und 1997)* führten vergleichende Untersuchungen über den Einfluss verschiedener Füllungsmaterialien auf das Bakterienwachstum durch. Dabei zeigten sie

1992, dass Komposite und Glasionomerzemente einen unterschiedlichen Einfluss auf das Bakterienwachstum haben. Auf Glasionomerzementen kommt es zu einer deutlichen Hemmwirkung in der stationären Wachstumsphase und teilweise zusätzlich zu einem inhibitorischen Effekt in der logarithmischen Wachstumsphase der Bakterien. Komposite führten hingegen nicht zu einer Hemmung, sondern bewirkten eine Verlängerung der logarithmischen Wachstumsphase. In der Studie von 1997 wurden Glasionomerzemente und ein Kompomer untersucht. Dabei wurde gezeigt, dass jedes Material zu jedem Zeitpunkt der Studie das Bakterienwachstum reduzierte, wobei dieser Effekt mit der Zeit signifikant abnahm. Das Kompomer zeigte einen signifikant niedrigeren Einfluss auf das Bakterienwachstum.

*Van Dijken et al. (1997)* stellten bei einer vergleichenden Untersuchung von Glasionomerzement, Kompomer und Komposit fest, dass der Anteil von *Streptococcus mutans* und von Laktobazillen auf den einzelnen Oberflächen nicht unterschiedlich war und auch keine Korrelation zum Fluoridgehalt der jeweiligen Probe aufwies. Auch *Yap et al. (1999)* fanden keinen Zusammenhang zwischen der Höhe der Fluoridfreisetzung und der antibakteriellen Wirkung von Glasionomerzement und Komposit.

### **3. MATERIALIEN UND METHODIK**

#### **3.1 Materialien**

##### **3.1.1 Probekörper**

Aus den Füllungsmaterialien Solitaire® (Hybridkomposit, Heraeus Kulzer, Dormagen), Degufill® mineral (Hybridkomposit, Degussa, Hanau), Hytac® (Kompomer, 3M ESPE, Seefeld) und Ketac-Fil® (Glasionomerzement, 3M ESPE, Seefeld) wurden jeweils 12 standardisierte Prüfkörper mit einem Durchmesser von 4 mm und einer Tiefe von 2 mm in Teflonstreifen hergestellt. Das Legen und Aushärten der einzelnen Materialien erfolgte nach Herstellerangaben, es wurde jedoch auf die Verwendung von Primern und Bondings verzichtet. Alle Prüfkörper wurden nach dem Aushärten mit Sof-Lex-Discs® (3M Espe, St. Paul, USA) mit abnehmender Körnung poliert.

In Tabelle 1 sind die für die Fluoridabgabe und erneute Fluoridaufnahme relevanten Angaben der verschiedenen Füllungsmaterialien aufgeführt.

*Tab. 1: Eigenschaften der verwendeten Materialien (Herstellerangaben)*

Material	Materialgruppe	Charge-Nr.	Füllstoffe	Füllstoff-Anteil (Gew.-%)	Fluoridgehalt des Materials (Gew.-%)	Wasseraufnahme ( $\mu\text{g}/\text{mm}^3$ )	Löslichkeit ( $\mu\text{g}/\text{mm}^3$ )
Solitaire	Feinpartikel-Hybrid-Komposit	22	Ba-Al-B-F-Si-Glas $\text{SiO}_2$ $\text{SrF}_2$	60	5	25	0,1
Degufill-mineral	Feinpartikel-Hybrid-Komposit	300	Glaspartikel $\text{SiO}_2$ Apatit-Modifikation	79	0,15	19,5	1
Hytac	Polyalkenoat-modifiziertes Komposit	29424	Ca-Al-Zn-F-Si-Glas $\text{SiO}_2$ Ytterbiumtrifluorid	66	16	32	3,4
Ketac-Fil	Glasionomerzement	008/005	Sr-La-Al-F-Si-Glas	76	10,6		0,05% (nach ISO 7489)

### Solitaire®

Bei Solitaire® (Heraeus Kulzer, Dormagen) handelt es sich um ein lichthärtendes, fluoridabgebendes, radioopakes Feinpartikelhybridkomposit. Solitaire® wird auf der Basis multifunktionaler (Meth-)acrylsäureester hergestellt und enthält 60 % Füllstoff. Die Füllstoffe bestehen aus SiO<sub>2</sub>, Ba-Al-F-Si und Al-F-Si-Gläsern. Die Matrix besteht aus Acrylaten, die 2-4 Acrylgruppen enthalten (*Herstellerangaben*).

Das Komposit wurde nach Herstellerangaben in zwei Schichten aufgetragen, die jeweils für 40 Sekunden mittels der Polymerisationslampe Tranzlux (Heraeus Kulzer, Dormagen) ausgehärtet wurden.

### Degufill® mineral

Degufill® mineral (Degussa, Hanau) ist ebenfalls ein Feinpartikelhybridkomposit. Der Füllstoffgehalt liegt bei 79 % mit einer durchschnittlichen Partikelgröße der Füllstoffe von 0,04 µm - 1,5 µm. Als Füllstoffe dienen Glaspartikel, SiO<sub>2</sub> und ein Phosphat-Sulfat-Apatit-Gemisch.

Das Komposit wurde nach Herstellerangaben in zwei Schichten aufgetragen, die jeweils für 40 Sekunden mittels der Polymerisationslampe Tranzlux (Heraeus Kulzer, Dormagen) ausgehärtet wurden.

### Hytac®

Das Füllungsmaterial Hytac® (3M ESPE, Seefeld) ist ein lichthärtendes Kompomer. Die Moleküle der Kunststoffmatrix besitzen sowohl Methacrylatgruppen, die einer radikalischen Polymerisation zugänglich sind, als auch Carboxylatgruppen. Neben der Harzmatrix werden die Kompomer-Eigenschaften durch das reaktive Glas bestimmt, welches an der Säure-Base-Reaktion des Glasionomer-Abbindevorgangs teilnimmt. Der Füllstoffanteil beträgt 66 Gew.% mit einer mittleren Partikelgröße von 5 µm. Weitere Bestandteile sind: Yttriumfluorid (für die Röntgenopazität), Silikat (disperses SiO<sub>2</sub>), Komonomere, Pigmente, Initiatoren (für die Lichthärtung) und Stabilisatoren.

Das Komonomer wurde nach Herstellerangaben in zwei Schichten aufgetragen, die jeweils für 40 Sekunden mittels der Polymerisationslampe Tranzlux (Heraeus Kulzer, Dormagen) gehärtet wurden.

#### Ketac-Fil®

Ebenfalls von der Firma 3M ESPE (Seefeld) stammt dieser konventionelle Glasionomerzement, der in dieser Versuchsreihe als Vergleichsmaterial diente. Das Material wird in aktivierbaren Kapseln geliefert, die 272 mg Pulver und 92 mg Lösung enthalten. Das Pulver besteht aus Calcium-Natrium-Fluor-Phosphor-Aluminiumsilikat im Verhältnis 11:2:13:2:16:56. In der Lösung sind neben Weinsäure Polyacryl- und Polymaleinsäure im Verhältnis 1:1 enthalten.

Der Glasionomerzement wurde nach Herstellerangaben nach einer 2 Sekunden dauernden Aktivierung der Kapseln für 10 Sekunden in einem Triturationsgerät gemischt und anschließend mit leichtem Überschuss aufgetragen. Nach 24 Stunden in einer feuchten Kammer wurde der Überschuss entfernt und die Materialoberfläche poliert.

### **3.1.2 Lösungen und Gelee**

#### Natriumfluoridlösung

Die für die tägliche Spülung der Hälfte aller Materialproben verwendete NaF-Lösung (s.u.) wurde mit einem Fluoridgehalt von 1250 ppm angesetzt. Da eine 1250-ppm-Natriumfluoridlösung 1,25 g Fluorid pro Liter Flüssigkeit enthält, wurden entsprechend der relativen Atommassen der Elemente Na (22,99 g) und F (18,998 g) 2,76 g NaF Pulver mit Hilfe einer geeichten Digitalwaage abgewogen und in 1 Liter Aqua bidest. gelöst.

TISAB II® ( 1,2-Cyclohexylen-Dinitrilotetsaacetic ) (Orion 940907)

Hierbei handelt es sich um einen für die Fluoridbestimmung in Lösungen mittels ionensensitiver Elektrode erforderlichen Gesamt-Ionen-Einstell-Puffer, der für eine Einstellung des pH-Wertes zwischen 5,0 und 5,5 sorgt und somit dem Dekomplexieren von Fluorid dient. Durch die Einstellung des pH-Wertes können keine Hydroxid-Ionen, die die Funktion der Fluoridelektrode stören würden, entstehen. Gleichzeitig wird die Bildung von Hydroxidkomplexen des Fluorides verhindert.

Die Lösung besteht aus: destilliertem Wasser (H<sub>2</sub>O), Natriumacetat (CH<sub>3</sub>COONa), Natriumchlorid (NaCl), Essigsäure (CH<sub>3</sub>COOH) und CDTA (C<sub>6</sub>H<sub>10</sub>[N(CH<sub>2</sub>COOH)<sub>2</sub>]<sub>2</sub>).

elmex® gelée

Bei elmex® gelée, das von der Firma GABA in Lörrach hergestellt wird, handelt es sich um ein Fluoridgelee, das zur Kariesprophylaxe, zur Remineralisation der Initialkaries und zur Behandlung überempfindlicher Zahnhälse eingesetzt wird. Verwendet wurde die Charge 00096611.

Bei einem Gesamtfluoridgehalt von 1,25 % (entspricht 12500 ppm) sind als wirksame Bestandteile 3,319 g Aminfluoride, und zwar 0,287 g Dectafluor und 3,032 g Olafluor, sowie 2,210 g Natriumfluorid enthalten. Der pH-Wert beträgt ca. 5,2. Weitere Bestandteile sind gereinigtes Wasser, Propylenglycol, Hydroxyethylcellulose, Saccharin, Apfelaroma, Pfefferminzöl, Krauseminzöl, d,l-Menthol und Banane-Aroma (*Herstellerangaben*).

## **3.2 Methodik**

### **3.2.1 Herstellung, Lagerung und Fluoridierung der Proben**

Aus den Materialien Solitaire®, Degufill® mineral, Hytac® und Ketac-Fil® wurden jeweils 12 standardisierte Proben hergestellt. Nach einer Aushärtungszeit von 24 Stunden in einer feuchten Kammer und Politur der zugänglichen Oberfläche wurden die Proben in jeweils 2,5 ml Aqua bidest. überführt und anschließend für 24 Stunden unter leichter Schüttelbewegung bei 37 °C gelagert.

Die Proben wurden nun in zwei Gruppen aufgeteilt, wobei die erste Gruppe täglich für 3 Minuten in eine mittels Magnetrührer leicht bewegte 1250-ppm-Natriumfluoridlösung getaucht und anschließend für 2 Minuten in ebenfalls mittels Magnetrührer bewegtem Aqua bidest. gespült wurde. Die zweite Gruppe wurde täglich nur für 2 Minuten in Aqua bidest. gespült. Nach diesem Vorgang wurden alle Proben erneut in 2,5 ml Aqua bidest. überführt und für 24 Stunden unter leichter Schüttelbewegung bei 37 °C gelagert. Dieses Verfahren wurde täglich über die gesamte Versuchsdauer durchgeführt.

Für die untersuchte Fragestellung sollten Proben verwendet werden, deren initial hohe Fluoridfreisetzung bereits abgeklungen war. Daher wurde vor Beginn der Fluoridierung mittels eines hochdosierten Fluoridgelees (siehe unten) eine Vorlaufzeit von 4 Wochen abgewartet. In dieser Zeit wurden die Proben jeweils täglich wie beschrieben in frisches Aqua bidest. umgesetzt, wobei die Hälfte der Proben mit der geringer konzentrierter Natriumfluoridlösung fluoridiert wurde. Der Versuchsablauf ist schematisch in Abbildung 1 (Seite 31) dargestellt.

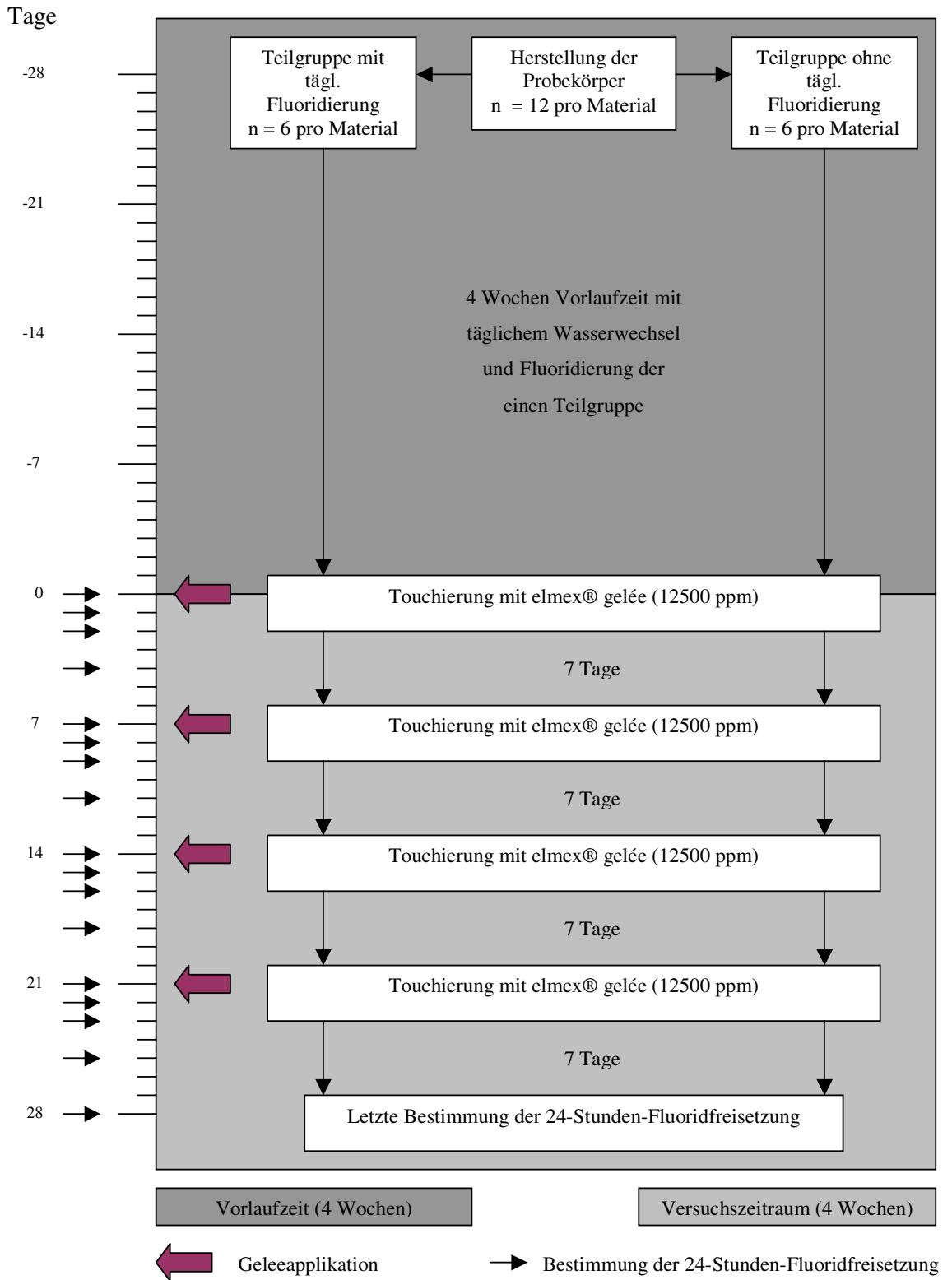
Zur intensiven Fluoridierung wurden alle Proben nach dem vierwöchigen Vorlauf für 3 Minuten mit jeweils 0,5 ml elmex® gelée touchiert und anschließend 2 Minuten unter fließendem Wasser mit Hilfe einer mittelharten Zahnbürste (elmex® 29 GABA, Lörrach) abgespült. Dieser Vorgang wurde im wöchentlichen Abstand an den Tagen 7, 14 und 21 wiederholt. Auch nach der Fluoridierung mit elmex® gelée wurde die eine Hälfte der Proben täglich wie oben beschrieben zunächst für 3 Minuten in eine 1250-ppm-Natriumfluoridlösung getaucht und anschließend für 2 Minuten in Aqua bidest.

gespült. Die andere Hälfte der Proben wurde täglich weiterhin für 2 Minuten in Aqua bidest. gespült. Nach der täglichen Spülung wurden die Proben erneut bei 37°C in 2,5ml Aqua bidest. gelagert.

Jeweils am 1., 2., 4. und 7. Tag nach der Fluoridapplikation wurde der Fluoridgehalt des täglich gewechselten Wassers bestimmt und hierin die 24-Stunden-Fluoridfreisetzung gemessen.



Abb. 1: Schematische Darstellung des Versuchsverlaufs



### **3.2.2 Bestimmung der Fluoridfreisetzung**

Zur Bestimmung des Fluoridgehaltes wurden Messlösungen erstellt, indem jeweils 2 ml der Flüssigkeit, in der die Proben lagerten, entnommen und mit 2 ml TISAB II® versetzt wurden.

Die Messung des Fluoridgehaltes der Lösungen erfolgte mittels der ionensensitiven Fluoridelektrode Orion 96-09 (Orion Research, Cambridge, USA), die mit der Lösung 90-00-01 (Orion Research, Cambridge, USA) gefüllt wurde. Die Elektrode wurde für 15 Minuten in die durch einen Magnetrührer leicht bewegte Lösung getaucht. Anschließend wurde die Potentialdifferenz der Lösung im Vergleich zum Elektrodenpotential am Digital-pH/mV-Meter Orion 701 A (Orion Research, Cambridge, USA) in mV abgelesen.

Um die Messungen unter standardisierten Bedingungen durchführen zu können, musste die Fluoridelektrode täglich mittels einer 0,5 ppm Fluoridlösung auf 73,7 mV geeicht werden.

Die Überprüfung der Elektrodenfunktion erfolgte einmal pro Woche, das erste Mal vor Beginn der Messungen. Hierzu wurde die Elektrode für 15 Minuten in eine Lösung aus 25ml Aqua bidest., 25ml TISAB II® und 0,5 ml einer 100-ppm-Standardlösung (Kat.-Nr. 94-09-07 Orion Research, Cambridge, USA) getaucht und das Elektrodenpotential notiert. Nach Zugabe von 5 ml der 100-ppm-Standardlösung wurde das Elektrodenpotential erneut nach 15 Minuten notiert, um dann die Differenz zwischen den gemessenen Potentialen zu berechnen. Die Elektrodenfunktion war bei einer Potentialdifferenz von  $-56 \pm 2$  mV gewährleistet.

### Erstellung der Eichkurve

Um die mittels der ionensensitiven Fluoridelektrode gemessenen mV-Werte in ppm Fluorid zu überführen, musste vor der ersten Messung eine Eichkurve erstellt werden. Hierzu wurden Fluoridlösungen mit den Konzentrationen 0,05 ppm, 0,1 ppm, 0,2 ppm, 0,5 ppm, 1 ppm, 2 ppm und 5 ppm hergestellt.

Von den hergestellten Lösungen wurden pro Messung jeweils 2,0 ml abgenommen und mit 2,0 ml TISAB II® versetzt. Zur Erstellung der Eichkurve wurde zunächst die Elektrode mit mehreren Ansätzen der 0,5 ppm-Lösung auf den Wert von 73,7 rel. mV eingestellt. Anschließend erfolgte die Messung der anderen Fluoridlösungen der Verdünnungsreihe. Dabei wurde von der niedrigsten bis zur höchsten Konzentration gemessen. Die Mittelwerte der Ergebnisse der Messungen wurden zur Erstellung der Eichkurve auf halblogarithmisches Papier übertragen (siehe Anhang).

### Berechnung der Fluoridabgabe bezogen auf die Probenoberfläche

Um die gemessene Fluoridabgabe auf die Oberfläche der Proben beziehen zu können, musste die Umrechnung von ppm auf  $\mu\text{g}/\text{cm}^2$  erfolgen. Der Umrechnung lag zugrunde:

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

Die Menge der abgegebenen  $\mu\text{g}$  Fluorid pro ml Lösung stammt bei dem verwendeten Probendurchmesser von 4 mm aus einer Probenoberfläche von  $0,126 \text{ cm}^2$ . Da nur 2ml der 2,5ml Lösung zur Messung verwendet wurden, ist die freigesetzte Fluoridmenge entsprechend höher als die gemessene Menge. Die gemessenen  $\mu\text{g}$  Fluorid müssen also zunächst mit dem Faktor 1,25 multipliziert werden. Da die Konzentration in 2 ml der Lösung gemessen wurde, ist die Fluoridmenge hierin doppelt so hoch wie in 1 ml Lösung. Die gemessenen  $\mu\text{g}$  Fluorid müssen also zusätzlich mit dem Faktor 2 multipliziert werden.

Pro cm<sup>2</sup> Probenoberfläche ergibt sich also:

$$\begin{aligned}\text{Fluoridfreisetzung} &= \frac{\text{gemessene ppm Fluorid} \times 1,25 \times 2}{0,126} \\ &= \text{gemessene ppm Fluorid} \times 19,84\end{aligned}$$

Das Produkt der gemessenen Fluoridkonzentration (ppm) und dem Faktor 19,84 zeigt die Fluoridfreisetzung aus der Oberfläche der Versuchsproben in µg/cm<sup>2</sup>.

### **3.2.3 Statistische Auswertung**

Die statistische Auswertung der Messwerte erfolgte mit Hilfe des StatView-Programms (Abacus Concepts, C-Berkley). Bei der Unterschreitung des p-Wertes von 0,05 gelten Differenzen eines Vergleichs als statistisch signifikant. Bestimmt wurden für jede Untersuchungsgruppe und jeden Untersuchungszeitpunkt der Mittelwert samt Standardabweichung.

Zur vergleichenden Bewertung der einzelnen Materialien und zur Auswertung des Fluoridierungseffektes wurde der parameterfreie Mann-Whitney-Test angewendet. Der Mann-Whitney-Test erfolgt, um jeweils zwei bestimmte Gruppen miteinander zu vergleichen, mit der Fragestellung, ob sich die zugrundeliegenden Messreihen signifikant voneinander unterscheiden. Die Prüfgröße des Testes wird aus den Rangzahlen der einzelnen Messwerte beider Stichproben berechnet. Der Mann-Whitney-Test setzt voraus, dass die betrachteten Gruppen kontinuierliche Messwerte enthalten und unabhängig voneinander sind.

Eine Überprüfung des additiven Fluoridierungseffektes innerhalb einer Materialgruppe erfolgte mit Hilfe des verbundenen t-Testes. Zwei Stichproben heißen verbunden, wenn es zu jedem Wert aus der einen genau einen aus der anderen Stichprobe gibt, mit dem er

inhaltlich ein Paar bildet. Dies ist z.B. bei wiederholter Messung an gleichen Prüfkörpern gegeben. Der verbundene t-Test prüft die Irrtumswahrscheinlichkeit für Differenzen von zwei Stichproben mit voneinander abhängigen Merkmalsausprägungen.

## **4. ERGEBNISSE**

Die Studienergebnisse werden mit Hilfe der Tabellen 2-7 und den Abbildungen 2-10 verdeutlicht.

### **4.1 Fluoridfreisetzung aus den einzelnen Materialien**

In den Abbildungen 2 und 3 sind die Ergebnisse für alle vier untersuchten Materialien mit bzw. ohne tägliche Fluoridierung als Übersicht graphisch dargestellt. Es wird deutlich, dass alle Materialien unabhängig von der täglichen Fluoridierung mit der 1250-ppm-Fluoridlösung aus dem wöchentlich lokal applizierten elmex® gelée Fluorid aufnehmen und wieder an die Umgebung abgeben, wobei jeweils in den ersten 24 Stunden nach Fluoridapplikation die höchste Fluoridfreisetzung zu erkennen ist. Im Verlauf einer Fluoridierungsperiode von jeweils einer Woche sinkt die Menge des abgegebenen Fluorids bei allen Materialien rasch auf ein niedriges Niveau ab, bevor es durch eine erneute Applikation von elmex® gelée wieder zu einer erhöhten Fluoridfreisetzung kommt ( siehe Tag 1, 8, 15 und 22).

Abb. 2: Fluoridfreisetzung aus täglich fluoridierten Proben

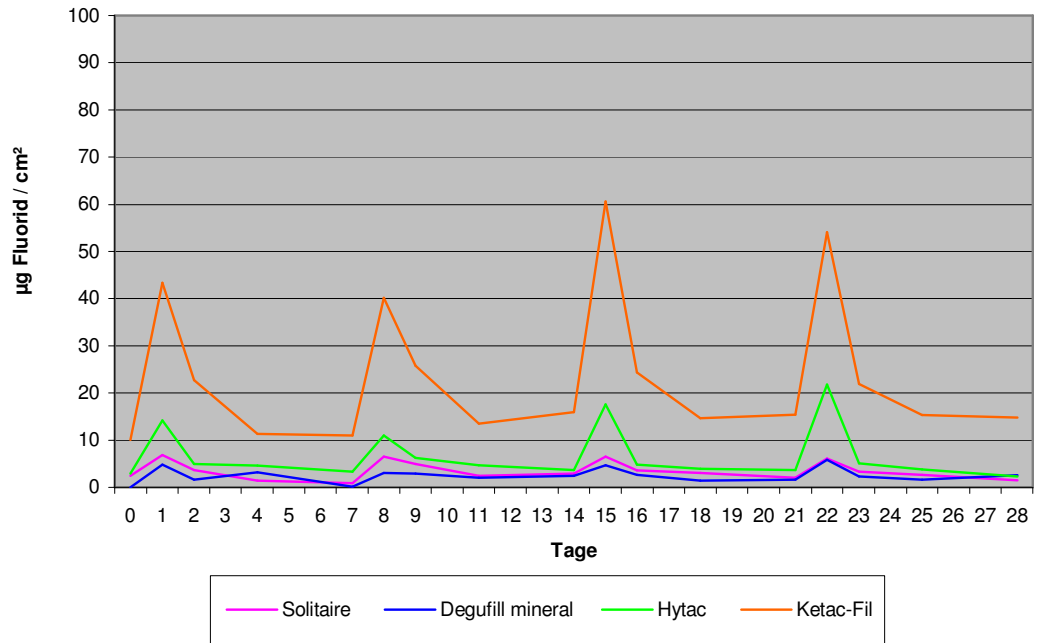
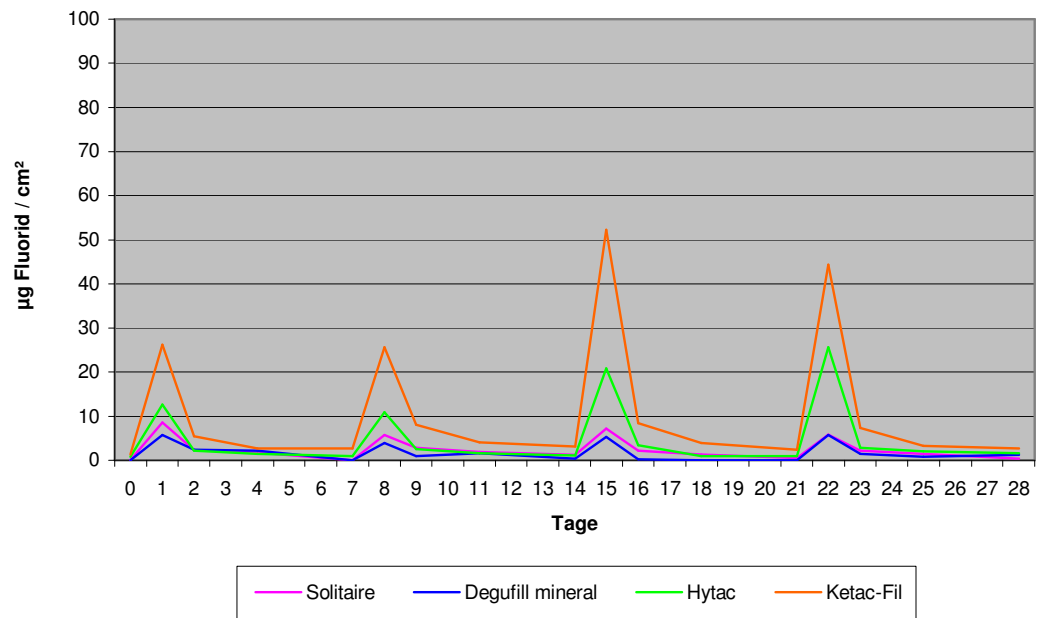


Abb. 3: Fluoridfreisetzung aus nicht täglich fluoridierten Proben



Tab. 2: Fluoridfreisetzung ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ ) aus Füllungsmaterialien mit und ohne tägliche Fluoridierung (Mittelwerte und Standardabweichung)

Tag der Messung	Solitaire®			Degufill® mineral			Hytac®			Ketac-Fil®		
	fluoridiert	nicht fluoridiert	p-Wert	fluoridiert	nicht fluoridiert	p-Wert	fluoridiert	nicht fluoridiert	p-Wert	fluoridiert	nicht fluoridiert	p-Wert
0 <sup>1</sup>	2,4 ± 1,1	0,1 ± 0,3	<0,01	n.m.	n.m.	n.s.	2,9 ± 1,6	0,8 ± 0,8	< 0,01	10,1 ± 1,6	1,3 ± 0,5	< 0,01
1 <sup>2</sup>	6,9 ± 0,9	8,7 ± 1,9	n.s.	4,9 ± 0,9	5,7 ± 1,5	n.s.	14,2 ± 1,5	12,6 ± 1,4	n.s.	43,4 ± 4,4	26,2 ± 4,7	< 0,01
2	3,7 ± 0,5	2,3 ± 0,2	<0,01	1,7 ± 0,3	2,5 ± 2,0	n.s.	5,0 ± 1,0	2,1 ± 0,3	< 0,01	22,7 ± 3,9	5,4 ± 1,8	< 0,01
4	1,4 ± 0,2	1,8 ± 0,5	n.s.	3,2 ± 1,7	2,2 ± 1,5	n.s.	4,5 ± 1,0	1,5 ± 0,3	< 0,01	11,4 ± 1,7	2,7 ± 0,5	< 0,01
7 <sup>3</sup>	0,9 ± 0,2	n.m.	<0,01	0,1 ± 0,1	n.m.	n.s.	3,3 ± 0,6	1,0 ± 0,2	< 0,01	11,0 ± 1,4	2,7 ± 0,4	< 0,01
8 <sup>2</sup>	6,5 ± 1,7	5,8 ± 1,4	n.s.	3,1 ± 0,6	3,9 ± 0,6	n.s.	11,0 ± 1,7	10,9 ± 1,5	n.s.	40,1 ± 3,1	25,6 ± 4,5	< 0,01
9	5,0 ± 0,8	2,9 ± 0,1	<0,01	2,9 ± 0,7	0,9 ± 0,1	<0,01	6,3 ± 0,7	2,6 ± 0,4	< 0,01	25,8 ± 2,4	8,1 ± 1,6	< 0,01
11	2,5 ± 0,3	1,9 ± 0,4	<0,05	2,0 ± 0,9	1,7 ± 0,4	n.s.	4,7 ± 0,3	1,7 ± 0,4	< 0,01	13,6 ± 1,5	4,1 ± 0,7	< 0,01
14 <sup>3</sup>	3,0 ± 0,2	1,3 ± 0,1	<0,01	2,4 ± 0,4	0,3 ± 0,4	<0,01	3,8 ± 0,4	1,1 ± 0,4	< 0,01	16,0 ± 1,8	3,1 ± 0,4	< 0,01
15 <sup>2</sup>	6,5 ± 1,1	7,3 ± 1,2	n.s.	4,7 ± 1,1	5,4 ± 2,5	n.s.	17,6 ± 0,8	20,9 ± 1,2	< 0,01 <sup>4</sup>	60,6 ± 1,7	52,2 ± 5,0	< 0,01
16	3,5 ± 0,3	2,2 ± 0,1	<0,01	2,7 ± 0,4	0,3 ± 0,3	<0,01	4,8 ± 0,4	3,4 ± 0,2	< 0,01	24,4 ± 3,0	8,4 ± 1,0	< 0,01
18	3,1 ± 0,2	1,3 ± 0,1	<0,01	1,5 ± 0,3	n.m.	<0,01	4,0 ± 0,2	1,0 ± 0,2	< 0,01	14,6 ± 1,2	4,0 ± 0,6	< 0,01
21 <sup>3</sup>	2,1 ± 0,3	0,6 ± 0,6	<0,01	1,6 ± 0,5	n.m.	<0,01	3,7 ± 0,5	1,0 ± 0,2	< 0,01	15,4 ± 0,8	2,4 ± 0,4	< 0,01
22 <sup>2</sup>	6,1 ± 0,8	5,9 ± 0,4	n.s.	5,9 ± 1,0	5,8 ± 0,6	n.s.	21,8 ± 2,9	25,7 ± 1,2	< 0,05 <sup>4</sup>	54,1 ± 4,2	44,3 ± 5,0	< 0,01
23	3,4 ± 0,2	2,2 ± 0,4	<0,01	2,3 ± 0,4	1,5 ± 0,4	<0,05	5,1 ± 0,8	2,8 ± 0,2	< 0,01	22,0 ± 2,2	7,3 ± 1,2	< 0,01
25	2,7 ± 0,1	1,5 ± 0,1	<0,01	1,6 ± 0,2	0,9 ± 0,2	<0,01	3,8 ± 0,2	2,0 ± 0,1	< 0,01	15,3 ± 2,2	3,2 ± 0,4	< 0,01
28 <sup>3</sup>	1,5 ± 0,1	0,4 ± 0,2	<0,01	2,6 ± 0,4	1,3 ± 0,2	<0,01	2,3 ± 0,2	1,6 ± 0,2	< 0,01	14,7 ± 1,8	2,7 ± 0,3	< 0,01

n.m. = nicht messbar      n.s. = nicht signifikant

<sup>1</sup> vor der ersten Applikation von elmex® gelée

<sup>2</sup> Fluoridfreisetzung innerhalb von 24 Stunden nach Applikation von elmex® gelée

<sup>3</sup> 24-Stunden Fluoridfreisetzung 7 Tage nach Applikation von elmex® gelée

<sup>4</sup> Fluoridfreisetzung bei nicht fluoridierter Probe signifikant höher

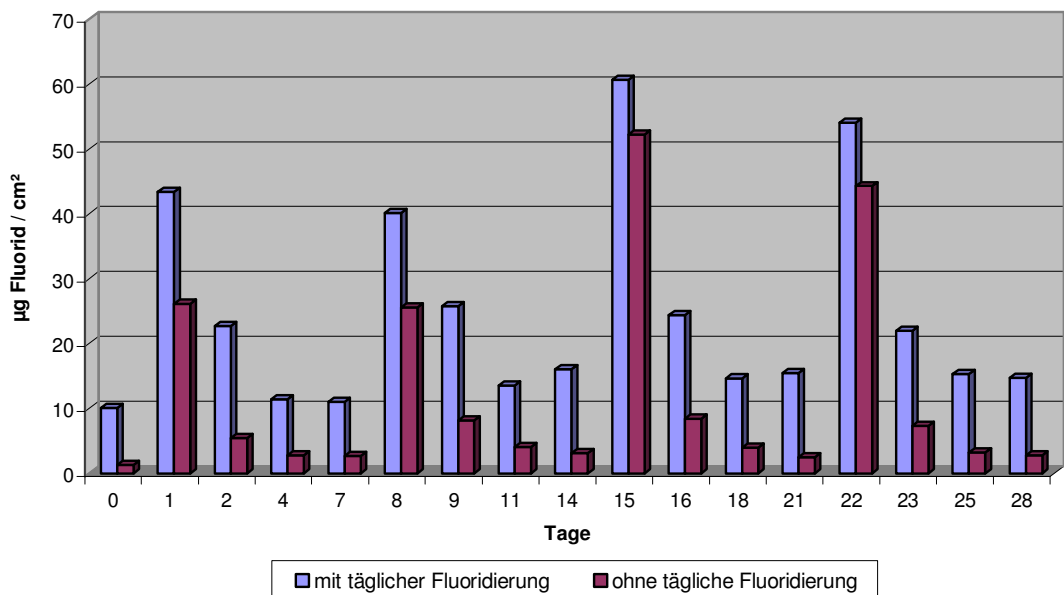


In Tabelle 2 sind die jeweiligen Messwerte mit Standardabweichung der täglich fluoridierten Proben und der täglich nicht fluoridierten Proben zusammengefasst. Zusätzlich sind zu jedem Material die Irrtumswahrscheinlichkeiten  $p$  des statistischen Vergleichs angegeben (Mann-Whitney-Test).

#### Ketac-Fil®

Von dem Glasionomerezement Ketac-Fil® ging im Vergleich zu den anderen Materialien über die gesamte Studiendauer der höchste Fluoridumsatz aus. Innerhalb dieser Materialgruppe war die Fluoridfreisetzung aus den täglich mit einer 1250-ppm-Natriumfluoridlösung gespülten Proben während der gesamten Versuchszeit signifikant höher als die Fluoridfreisetzung aus den täglich nur in Aqua bidest. gespülten Proben ( $p < 0,01$  Mann-Whitney-Test). In diesem Zusammenhang fällt auf, dass die Fluoridfreisetzung aus den täglich fluoridierten Proben ein höheres Niveau nach der ersten 24-Stunden-Fluoridfreisetzung nach Applikationen von elmex® gelée behält, während aus den täglich nur in Aqua bidest. gespülten Proben die Fluoridfreisetzung in den folgenden Tagen deutlich stärker abnahm (Abbildung 4).

Abb. 4: Fluoridfreisetzung aus Ketac-Fil® mit und ohne tägliche Fluoridierung



Bei detaillierter Betrachtung der Fluoridabgabe nach der elmex®-gelée-Touchierung wird ersichtlich, dass die freigesetzte Fluoridmenge an vergleichbaren Tagen nach der Touchierung deutlich zunimmt (Abbildung 4). So setzt Ketac-Fil® in der Teilgruppe mit täglicher Applikation der Fluoridlösung in den ersten 24 Stunden nach der ersten Gelee-Anwendung 43,4 µg Fluorid/cm<sup>2</sup> frei, nach der vierten Gelee-Anwendung hingegen wurden 54,1 µg Fluorid/cm<sup>2</sup> freigesetzt (p < 0,01, verbundener t-Test). Auch an anderen Tagen zwischen den einzelnen Applikationen von elmex® gelée kam es zu einer zunehmenden Fluoridfreisetzung aus den Proben. So wurden vor der ersten Applikation von elmex® gelée 10,1µg Fluorid/cm<sup>2</sup> freigesetzt, während an Tag 28, dem letzten Tag nach viermaliger Touchierung mit elmex® gelée, 14,7µg Fluorid/cm<sup>2</sup> in Lösung gingen (p < 0,05, verbundener t-Test).

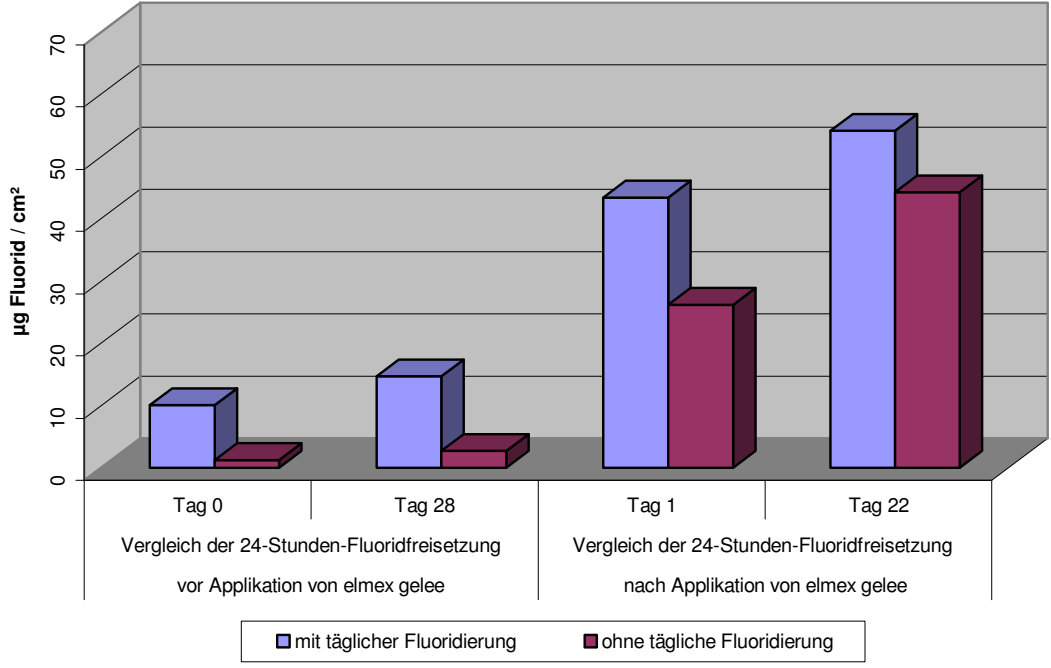
Ohne tägliche Fluoridierung wurde ebenfalls eine signifikante Zunahme der Fluoridabgabe im Wochenvergleich gemessen. So wurden am Tag nach der ersten Gelee-Applikation 26,2 µg Fluorid/cm<sup>2</sup> freigesetzt. Nach der vierten Gelee-Applikation konnte an Tag 22 eine 24-Stunden-Fluoridfreisetzung von 44,3 µg Fluorid/cm<sup>2</sup> gemessen werden (p < 0,01, verbundener t-Test). Auch in den weiteren Tagen nach der Gelee-Applikation war die Fluoridabgabe im Verlauf der vierwöchigen Messungen erhöht. So gaben die Proben an Tag 0, dem Tag vor der ersten Fluoridierung 1,3µg Fluorid/cm<sup>2</sup> ab, während an Tag 28, dem letzten Tag der letzten "Auswaschphase", 2,7µg Fluorid/cm<sup>2</sup> freigesetzt wurden (p < 0,01, verbundener t-Test). Tabelle 3 und Abbildung 5 verdeutlichen dieses Ergebnis.

*Tab. 3: Fluoridfreisetzung (µg/cm<sup>2</sup>) aus Ketac-Fil® an vergleichbaren Tagen vor und nach viermaliger Applikation von elmex® gelée*

	Vergleich der 24-Stunden-Fluoridfreisetzung vor Applikation von elmex® gelée			Vergleich der 24-Stunden-Fluoridfreisetzung nach Applikation von elmex® gelée		
	Tag 0	Tag 28	p-Wert <sup>1</sup>	Tag 1	Tag 22	p-Wert <sup>1</sup>
fluoridiert	10,1	14,7	< 0,05	43,4	54,1	< 0,01
nicht fluoridiert	1,3	2,7	< 0,01	26,2	44,3	< 0,01

<sup>1</sup> t-Test (verbundene Stichproben)

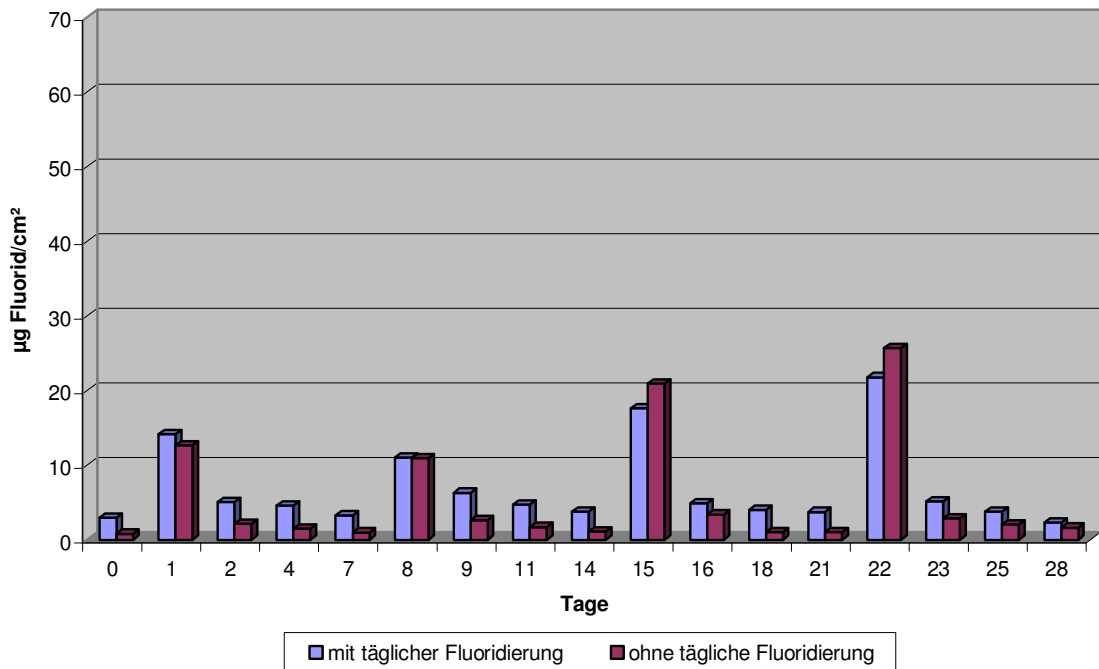
Abb. 5: Graphische Darstellung der zunehmenden Fluoridfreisetzung aus Ketac-Fil® nach wiederholter Applikation eines Fluoridgelees



## Hytac®

Das Kompomer Hytac® zeigte den zweithöchsten Fluoridumsatz aller Materialien. Auch innerhalb dieser Materialgruppe bestand ein signifikanter Unterschied zwischen den täglich fluoridierten und den nicht fluoridierten Proben. Dabei wurde aus den regelmäßig fluoridierten Proben mit Ausnahme des jeweils auf die Gelee-Applikation folgenden Tages stets signifikant mehr Fluorid freigesetzt (Mann-Whitney-Test, Tabelle 2 und Abbildung 6).

Abb. 6: Fluoridfreisetzung aus Hytac® mit und ohne tägliche Fluoridierung



Auch beim Kompomer Hytac® konnte im Verlauf der viermaligen wöchentlichen Geleegabe eine zunehmende Fluoridfreisetzung festgestellt werden. Bei den täglich fluoridierten Proben wurde nach der ersten Gelee-Applikation eine Fluoridfreisetzung von 14,2 µg Fluorid/cm<sup>2</sup> gemessen, welche nach der vierten Gelee-Applikation auf den Wert von 21,8 µg Fluorid/cm<sup>2</sup> anstieg ( $p < 0,01$ , verbundener t-Test). Während der weiteren Tage zwischen den Applikationen von elmex® gelée konnte ebenfalls durchweg eine stetig zunehmende Fluoridfreisetzung verzeichnet werden, obgleich die bestimmten Fluoridmengen gering waren.

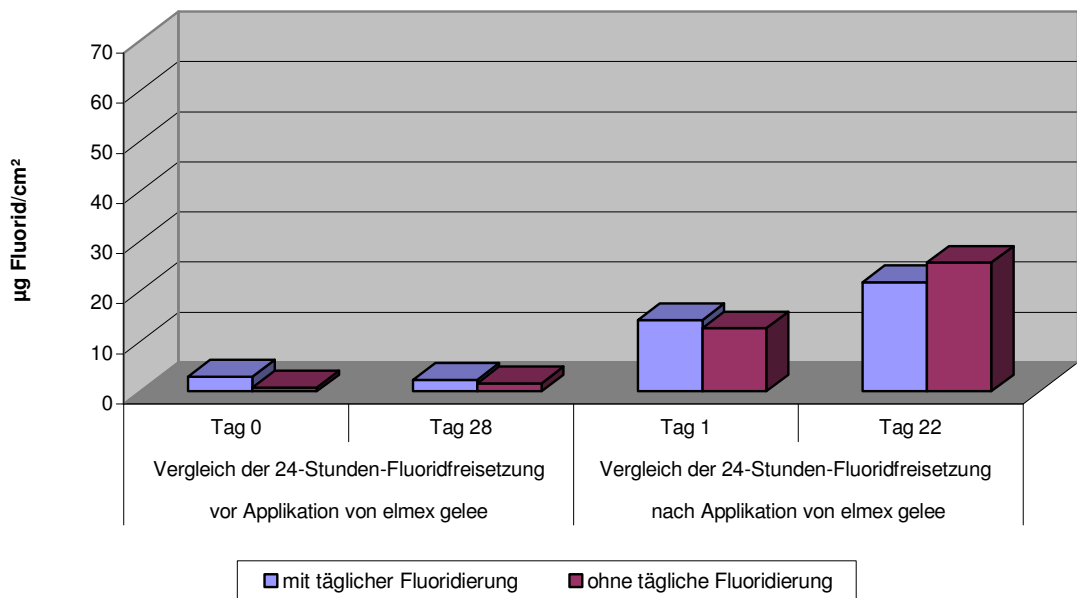
Ein ähnliches Ergebnis zeigten auch die nicht fluoridierten Proben, die an Tag 1, dem Tag nach der ersten Gelee-Applikation, 12,6µg Fluorid/cm<sup>2</sup> freisetzen und an Tag 22 nach der vierten Applikation einen Wert von 25,7 µg Fluorid/cm<sup>2</sup> aufweisen konnten (p < 0,01, verbundener t-Test). Auch im Vergleich der übrigen Tage nach jeweiliger Geleegabe kam es bei dieser Gruppe zu einer Zunahme der Fluoridfreisetzung. Während an Tag 0 0,8µg Fluorid/cm<sup>2</sup> abgegeben wurden, stieg die Fluoridfreisetzung bis Tag 28 auf 1,6µg Fluorid/cm<sup>2</sup> an (p < 0,01, verbundener t-Test). Die Ergebnisse werden in Tabelle 4 und Abbildung 7 verdeutlicht.

Tab. 4: Fluoridfreisetzung (µg/cm<sup>2</sup>) aus Hytac® an vergleichbaren Tagen vor und nach viermaliger Applikation von elmex® gelée

	Vergleich der 24-Stunden-Fluoridfreisetzung vor Applikation von elmex® gelée			Vergleich der 24-Stunden-Fluoridfreisetzung nach Applikation von elmex® gelée		
	Tag 0	Tag 28	p-Wert <sup>1</sup>	Tag 1	Tag 22	p-Wert <sup>1</sup>
fluoridiert	2,9	2,3	n.s.	14,2	21,8	<0,01
nicht fluoridiert	0,8	1,6	<0,01	12,6	25,7	<0,01

<sup>1</sup> t-Test (verbundene Stichproben)

Abb. 7: Graphische Darstellung der zunehmenden Fluoridfreisetzung aus Hytac® nach wiederholter Applikation eines Fluoridgelees

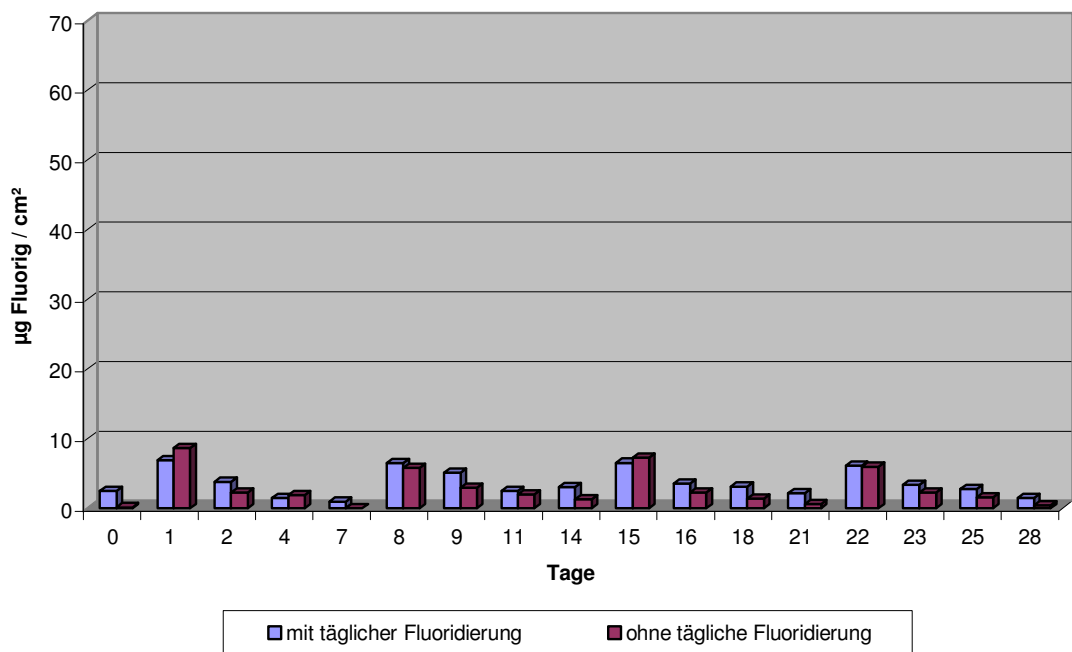


### Solitaire® und Degufill® mineral

Die Hybridkomposite Solitaire® und Degufill® mineral setzten am wenigsten Fluorid während der gesamten Studiendauer um.

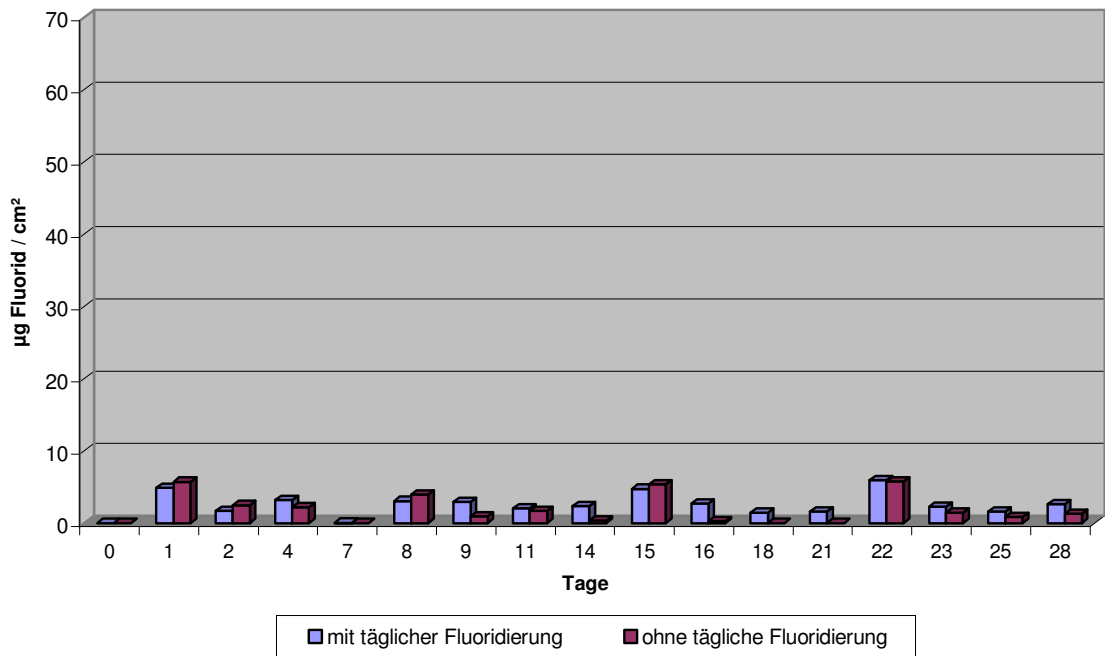
Bei dem Komposit Solitaire® konnte mit Ausnahme der Tage 1, 4, 8, 15 und 22 ein signifikanter Unterschied zwischen den täglich fluoridierten und den nicht fluoridierten Proben festgestellt werden, wobei die täglich fluoridierten Proben signifikant mehr Fluorid freisetzen ( $p < 0,05$ , Mann-Whitney-Test, Tabelle 2). In beiden Teilgruppen war die Zunahme der Fluoridfreisetzung nach Gelee-Applikation gering (Abbildung 8).

Abb. 8: Fluoridfreisetzung aus Solitaire® mit und ohne tägliche Fluoridierung



Aus Degufill® mineral wurde am wenigsten Fluorid freigesetzt. Erst mit zunehmender Versuchsdauer wurde ein signifikanter Unterschied zwischen der täglich fluoridierten und der nicht fluoridierten Teilgruppe erkennbar ( $p < 0,01$ , Mann-Whitney-Test). Der Effekt der Geleegabe auf die nachfolgende Fluoridfreisetzung ist ebenfalls nur gering.

Abb. 9: Fluoridfreisetzung aus Degufill® mineral mit und ohne tägliche Fluoridierung



Die Komposite zeigten sowohl in der täglich fluoridierten als auch in der nicht fluoridierten Teilgruppe keine Zunahme der Fluoridfreisetzung nach wiederholter Gelee-Applikation. In jeder Woche zwischen den Gelee-Applikationen gaben die Komposite das aufgenommene Fluorid fast vollständig wieder ab und konnten so im Vergleich zu Ketac-Fil® und Hytac® keine höhere Fluoridfreisetzung nach viermaliger Gelee-Applikation zeigen.

#### **4.2 Vergleich der einzelnen Materialien**

Der Vergleich der einzelnen Materialien ergibt sich bereits aus den Abbildungen 2 und 3. Zum statistischen Vergleich wurde der Mann-Whitney-Test herangezogen, die Ergebnisse dieses Vergleichs für die täglich fluoridierten bzw. nicht fluoridierten Teilgruppen sind in den Tabellen 5 und 6 aufgeführt.

Tab. 5: Irrtumswahrscheinlichkeit  $p$  (Mann-Whitney-Test) beim paarweisen Vergleich der Fluoridfreisetzung aus den unterschiedlichen täglich fluoridierten Materialien

Tag	Ketac-Fil® zu Hytac®	Ketac-Fil® zu Solitaire®	Ketac-Fil® zu Degufill® mineral	Hytac® zu Solitaire®	Hytac® zu Degufill® mineral	Solitaire® zu Degufill® mineral
0	<0,01	<0,01	<0,01	n.s.	<0,01	<0,01
1	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,05
2	<0,01	<0,01	<0,01	<0,05	<0,01	<0,01
4	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	n.s.	n.s.
7	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
8	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
9	<0,01	<0,01	<0,01	<0,05	<0,01	<0,01
11	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	n.s.
14	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,05
15	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,05
16	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
18	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
21	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	n.s.
22	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	n.s.
23	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
25	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
28	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	n.s.	<0,01

n.s. = nicht signifikant



Tab. 6: Irrtumswahrscheinlichkeit  $p$  (Mann-Whitney-Test) beim paarweisen Vergleich der Fluoridfreisetzung aus den unterschiedlichen nicht täglich fluoridierten Materialien

Tag	Ketac-Fil® zu Hytac®	Ketac-Fil® zu Solitaire®	Ketac-Fil® zu Degufill® mineral	Hytac® zu Solitaire®	Hytac® zu Degufill® mineral	Solitaire® zu Degufill® mineral
0	n.s.	<0,01	<0,01	n.s.	<0,05	n.s.
1	<0,01	<0,01	<0,01	<0,05	n.s.	<0,05
2	<0,01	<0,01	<0,05	n.s.	n.s.	n.s.
4	<0,01	<0,05	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
7	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	n.s.
8	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
9	<0,01	<0,01	<0,01	n.s.	<0,01	<0,01
11	<0,01	<0,01	<0,01	n.s.	n.s.	n.s.
14	<0,01	<0,01	<0,01	n.s.	<0,01	<0,01
15	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	n.s.
16	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
18	<0,01	<0,01	<0,01	<0,05 <sup>1</sup>	<0,01	<0,01
21	<0,01	<0,01	<0,01	n.s.	<0,01	<0,05
22	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	n.s.
23	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,05
25	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
28	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,05	<0,01

n.s. = nicht signifikant

Durch den statistischen Vergleich wird bestätigt, dass Ketac-Fil® über die gesamte Studiendauer im Vergleich zu allen anderen Materialien eine signifikant höhere Fluoridfreisetzung zeigte. Diese statistische Differenz besteht sowohl in der Gruppe der täglich mit einer 1250-ppm-Natriumfluoridlösung fluoridierten Proben als auch für die Gruppe der täglich nur in Aqua bidest. gespülten Proben.

Beim Vergleich von Hytac® mit den anderen Materialien fällt auf, dass sowohl die täglich fluoridierte Gruppe als auch die täglich nur in Aqua bidest. gespülten Proben mehr Fluorid freisetzen als die Hybridkomposite. Aus den täglich fluoridierten Proben wurde während der gesamten Versuchsdauer mit Ausnahme der Tage 4 und 28 signifikant mehr Fluorid freigesetzt als aus dem Hybridkomposit Degufill® mineral ( $p < 0,01$ , Mann-Whitney-Test). Gegenüber dem Komposit Solitaire® war die Freisetzung von Fluorid aus dem Kompomer Hytac® zu jedem Zeitpunkt der Studie, mit Ausnahme von Tag 0, signifikant höher ( $p < 0,05$ , Mann-Whitney-Test). Bei den nicht täglich fluoridierten Proben zeigte das Kompomer Hytac® im Vergleich zum Komposit Degufill® mineral mit Ausnahme der Tage 1, 2, 4 und 11 eine signifikant höhere Fluoridfreisetzung ( $p < 0,05$ , Mann-Whitney-Test). Auch gegenüber Solitaire® wurde durchweg signifikant mehr Fluorid freigesetzt ( $p < 0,05$ , Mann-Whitney-Test).

Beim Vergleich der beiden Hybridkomposite Solitaire® und Degufill® mineral war die Fluoridfreisetzung aus Solitaire® während der meisten Versuchstage signifikant höher als aus Degufill® mineral ( $p < 0,05$ , Mann-Whitney-Test).

Bei den täglich fluoridierten Proben gab es an den Tagen 4, 11, 21 und 22 keinen signifikanten Unterschied zwischen den Kompositen, an Tag 28 war das Verhältnis sogar zugunsten von Degufill® mineral signifikant verschoben ( $p < 0,01$ , Mann-Whitney-Test). Bei den nicht täglich fluoridierten Proben der Komposite war an den Tagen 0, 2, 4, 7, 11, 15 und 22 kein signifikanter Unterschied zwischen der Fluoridfreisetzung aus beiden Materialien zu erkennen, an Tag 28 war auch hier das Verhältnis zugunsten von Degufill® mineral verändert ( $p < 0,01$ , Mann-Whitney-Test).

### 4.3 Ergebniszusammenfassung

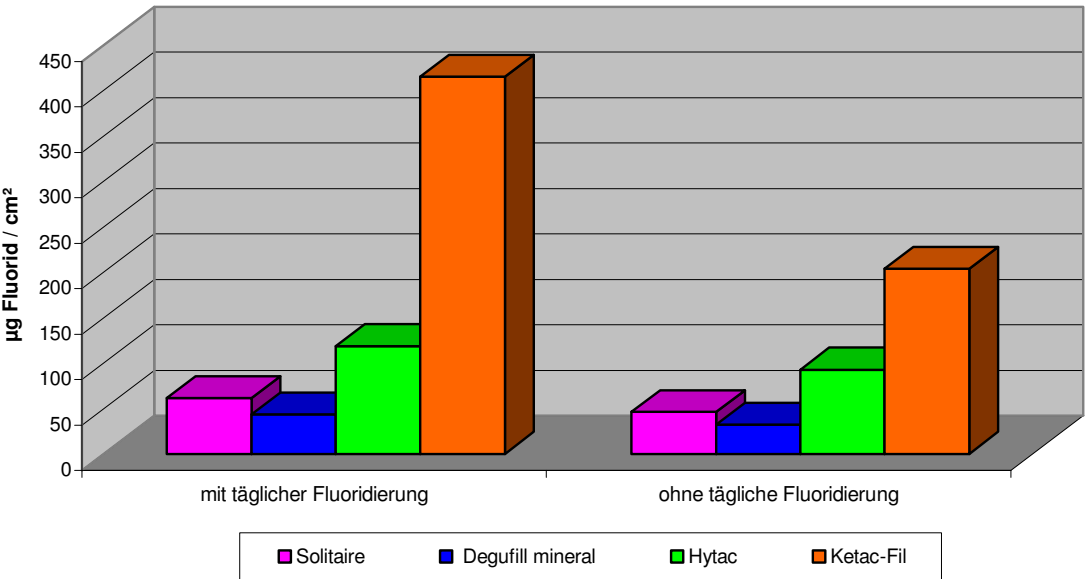
Zur übersichtlichen Darstellung der Fluoridfreisetzung aus den unterschiedlichen Materialien sind die während der Studiendauer abgegebenen gemessenen Gesamtfluoridmengen in Tabelle 7 und Abbildung 10 zusammengefasst. Die Gesamtfluoridmenge stellt dabei die Summe der freigesetzten Fluoridmenge der einzelnen Messtage dar.

Aus der Tabelle und aus der graphischen Darstellung wird bestätigt, dass die Fluoridabgabe aus dem Glasionomerezement Ketac-Fil® am größten ist. Die zweithöchste Fluoridfreisetzung zeigt das Kompomer Hytac®, gefolgt von den Hybridkompositen Solitaire® und Degufill® mineral. Dies gilt jeweils sowohl für die täglich fluoridierten als auch für die nicht täglich fluoridierten Teilgruppen.

*Tab. 7: Gesamtmenge des aus den verschiedenen Materialien freigesetzten Fluorids ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ ) mit und ohne tägliche Fluoridierung (Summe der Mittelwerte aller Messtage)*

	Summe der Fluoridfreisetzung ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ )	
	mit täglicher Fluoridierung	ohne tägliche Fluoridierung
Solitaire®	61,2	46,3
Degufill® mineral	43,3	32,4
Hytac®	118,7	92,8
Ketac-Fil®	415,1	203,9

Abb. 10: Gesamtmenge des aus den verschiedenen Materialien freigesetzten Fluorids ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ ) mit und ohne tägliche Fluoridierung (Summe der Mittelwerte aller Messtage)



## **5. DISKUSSION**

In der vorliegenden In-vitro-Studie wurde unter standardisierten Bedingungen die Fähigkeit der Fluoridfreisetzung und –wiederaufnahme von einem Kompomer und zwei Hybridkompositen im Vergleich zu einem Glasionomerzement untersucht. Von besonderem Interesse war dabei, inwiefern die Füllungsmaterialien nach der Applikation des hochdosierten Aminfluoridgels elmex® gelée erneut Fluorid freisetzen und ob die regelmäßige wiederholte Applikation zu einer Zunahme der Fluoridfreisetzung führt. Dabei wurde zusätzlich der Einfluss einer täglichen Spülung mit einer 1250-ppm-Natriumfluoridlösung, was etwa dem Fluoridgehalt von Zahnpasten entspricht, auf die Menge des abgegebenen Fluorids untersucht.

Fluoride nehmen unbestritten eine zentrale Rolle in der Kariesprophylaxe ein. Dabei kommt vor allem der lokalen Fluoridapplikation eine besondere Bedeutung zu, weil hierdurch in Form der Kalziumfluorid-Deckschicht ein Fluoridreservoir angelegt wird (*Duschner 1987*), weil Remineralisationsvorgänge am Schmelz gefördert werden und weil das Fluorid gleichzeitig mit in die Struktur des Schmelzes eingebaut wird, wodurch ein säureresistenterer Fluorapatit entsteht (*Gülzow 1995, Hellwig et al. 1995*). Da die an Füllungsändern mitunter auftretenden Randspalten ein Mikrobiotop mit Relevanz für die Genese einer Sekundärkaries darstellen (*Buchmann et a. 1992*), kann hier die Anwesenheit von Fluorid von besonderer Bedeutung für die Hemmung der Kariesentstehung sein. Um der Entstehung einer Sekundärkaries entgegenzuwirken, wurden Füllungsmaterialien entwickelt, die Fluorid abgeben können. Zahlreiche Studien haben gezeigt, dass Glasionomerzemente zu einer erhöhten Fluoridkonzentration im Schmelz und Dentin führen und so die Entstehung einer Sekundärkaries hemmen können (*Retief et al. 1984, Forss und Seppä 1990, Benelli 1993, Forsten 1994*).

Glasionomerzemente haben jedoch aufgrund ihrer physikalischen und mangelnden ästhetischen Eigenschaften einen eingeschränkten Indikationsbereich, weshalb neue Materialien, die Kompomere (polyalkenoatmodifizierte Komposite), entwickelt wurden,

die die positiven Eigenschaften von Glasionomerzementen mit den positiven Eigenschaften von Kompositen verbinden sollen.

Auch die Entwicklung neuer fluoridfreisetzender Komposite soll der Entstehung einer Sekundärkaries, einem Hauptgrund für die Erneuerung einer Kompositfüllung, entgegenwirken (*Mjör et al. 2002*).

### **5.1 Diskussion der Methodik**

Die vorliegende Untersuchung wurde als In-vitro-Studie durchgeführt. Hiermit gehen Abweichungen von der intraoralen Situation einher, welche durch fehlendes Schwanken des umgebenden pH-Wertes sowie das Fehlen von Pellikel, Plaque und Speichel charakterisiert sind.

*Attin et al. (1996)* stellten bei ihrer Untersuchung über den Einfluss von Pufferlösungen mit unterschiedlichem pH-Wert auf die Fluoridfreisetzung aus Kompomeren fest, dass die Gesamtfluoridfreisetzung bei Kompomeren im sauren Milieu höher ist als im neutralen Milieu. Auch Glasionomerzemente und lichthärtende Glasionomerzemente setzen im sauren Milieu mehr Fluorid frei als in einem neutralen Umgebungsmedium (*Forsten 1990 und 1995, Schiffner et al. 2004*). Bezugnehmend auf diese Studien könnte die unter den hier vorhandenen Bedingungen gemessenen Fluoridabgaben im intraoralen Milieu höher ausfallen.

Bezogen auf das Lagerungsmedium stellten *El Mallakh und Sarkar (1990)* jedoch fest, dass die Fluoridfreisetzung aus Füllungsmaterialien in Aqua bidest. signifikant höher ist als die Freisetzung in Speichel, was von *Rezk-Lega et al. (1991)* und *Glockmann et al. (1997)* bestätigt wurde. Da in der vorliegenden Studie als Lagerungsmedium Aqua bidest. verwendet wurde, ist davon auszugehen, dass die gemessene Fluoridfreisetzung intraoral deutlich niedrigere Werte aufweist.

*Damen et al. (1996 und 1999)* konnten in ihren Untersuchungen zeigen, dass Speichel und Pellikelbildung einen reduzierenden Einfluss auf die Fluoridaufnahme und anschließende Wiederabgabe aus Glasionomerzement haben. Die Autoren führen dabei die verminderte Fluoridaufnahme auf die Bildung des Pellikels und die anheftende Plaque zurück, da diese eine Diffusionsbarriere für das Fluorid darstellen. Auch *Schiffner und Grundmann (2000)* weisen auf eine deutlich verringerte Fluoridfreisetzung und –wiederaufnahme unter dem Einfluss von Pellikel und Speichel hin.

Andererseits stellten *Rezk-Lega et al. (1991)* fest, dass ein niedriger pH-Wert in der einem Glasionomerzement aufgelagerten Plaque zu einer Erhöhung der Fluoridfreisetzung aus dem Glasionomerzement führen kann.

Neben diesen Einflüssen ist auch der Verdünnungseffekt des Speichels bei intraoral verwendeter Zahnpaste und elmex® gelée zu berücksichtigen. In der vorliegenden Studie wurde zur täglichen Fluoridierung eine 1250-ppm-Natriumfluoridlösung verwendet, was etwa der Fluoridkonzentration einer handelsüblichen Zahnpaste für Erwachsene entspricht. Bei der Applikation von elmex® gelée wurde ebenfalls der Verdünnungseffekt des Speichels vernachlässigt. Allerdings war die experimentelle Verwendung der Fluoridierungsmittel für alle Proben gleich, und es können somit vergleichend Rückschlüsse auf die untersuchten Eigenschaften der Materialien gezogen werden. Über das Ausmaß der Abweichung von der intraoralen Situation kann angesichts der diskutierten Abweichungen, die im Vergleich zur experimentellen Situation teilweise gegenteiligen Effekte bedeuten, keine Abschätzung gegeben werden.

*Hørstedt-Bindslev (1994)* diskutierte die klinische Relevanz der zahlreichen In-vitro-Studien, die eine Fluoridfreisetzung aus Füllungsmaterialien und die hemmenden Einflüsse auf die Demineralisation zeigten. Die entscheidende Frage, inwieweit die Fluoridfreisetzung kariostatische Effekte erzielt, kann demnach nur durch klinische Studien gezeigt werden, da viele synergistische und antagonistische Faktoren Einfluss auf das klinische Verhalten und die klinischen Effekte der Materialien haben.

## **5.2 Diskussion der Ergebnisse**

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie zeigen, dass Komposite und Kompomere nach der Anwendung des hochdosierten Aminfluoridgels elmex® gelée in der Lage sind, vermehrt Fluorid abzugeben. Die Mengen des freigesetzten Fluorids sind dabei signifikant niedriger als beim Glasionomerzement, der als Referenzmaterial getestet wurde. Dabei ist festzustellen, dass dies sowohl für die täglich mit einer 1250-ppm-Natriumfluoridlösung fluoridierten Proben als auch für die Gruppe der täglich nur in Aqua bidest. gespülten Proben gilt.

In zahlreichen Studien wurde bereits gezeigt, dass Kompomere und Komposite genau wie Glasionomerzement Fluorid an ihre Umgebung abgeben, wobei Glasionomerzement eine höhere Fluoridfreisetzung zeigt als ein Kompomer, welches wiederum eine größere Menge Fluorid an seine Umgebung abgibt als ein Komposit (*Preston et al. 1999, Yap et al. 1999, Peng et al. 2000, Weidlich et al. 2000, Vermeersch et al. 2001, Attar und Önen 2002, Han et al. 2002, Preston et al. 2003*).

Auch in Langzeitstudien wurde die Fluoridfreisetzung aus den drei Materialgruppen nachgewiesen, wobei der Glasionomerzement anfangs deutlich mehr Fluorid freisetzt als ein Kompomer und ein Komposit. Jedoch glich sich die Höhe der Fluoridabgabe aus dem Glasionomer im Verlauf von 6-12 Monaten an die freigesetzte Fluoridmenge des Kompomers an. Lediglich zu Kompositen bestand auch über längere Studienverläufe eine signifikant höhere Fluoridfreisetzung (*Shaw et al. 1998, Asmussen und Peutzfeldt 2002*).

Die in der vorgelegten Untersuchung gefundene Erhöhung der Fluoridfreisetzung aus allen Materialgruppen nach der Applikation von elmex® gelée bestätigt die Ergebnisse anderer Studien (*Yip und Smales 1999, Peng et al. 2000, Gao und Smales 2001*). Die höchste Fluoridfreisetzung fand auch in diesen Studien in den ersten 24 Stunden nach Geleeapplikation statt und sank dann rasch auf ein niedriges Niveau ab, was ebenfalls mit den vorliegenden Ergebnissen übereinstimmt.



Auch die tägliche Refluoridierung der Füllungsmaterialien mit Natriumfluorid wurde in einigen Studien untersucht (*Preston et al 1999 und 2003, Weidlich et al. 2000, Attar und Önen 2002*). Dabei besteht Einigkeit darüber, dass Glasionomer-basierte Materialien ein deutlich höheres Potential der Fluoridaufnahme zeigen als Komposite. In den angegebenen Studien wurden Konzentrationen verwendet, die der hier verwendeten Natriumfluoridlösung zur täglichen Spülung entsprachen. Die vorliegende Untersuchung bestätigt den signifikanten Unterschied zwischen den täglich fluoridierten und den täglich nicht fluoridierten Proben.

Konträr dazu stehen die Ergebnisse von *Attin et al. (1999)*, die sowohl in sauren als auch in neutralen Lösungen keine Refluoridierung von Komposeren nachweisen konnten.

Für die Fluoridaufnahme und die daraus resultierende erhöhte Fluoridfreisetzung bei den einzelnen Materialien müssen zwei Möglichkeiten zur Aufnahme des Fluorids diskutiert werden. Einerseits kann eine mechanische Einlagerung von Fluorid aufgrund der Oberflächenrauigkeit erfolgen. Um die mechanisch retinierten Anteile des Fluorids so gering wie möglich zu halten, wurden die Proben poliert und zusätzlich nach Applikation von *elmex® gelée* gründlich gebürstet sowie nach der Spülung in Natriumfluorid gründlich in Aqua bidest. gespült. Andererseits ist die unterschiedliche Wasseraufnahme und Löslichkeit der Materialien (siehe Tabelle 1) ein möglicher Grund für die unterschiedliche Fluoridaufnahme und –wiederabgabe. Hierdurch ist eine chemische Bindung in die Materialstruktur der unterschiedlichen Füllstoffe möglich.

Ein weiterer Grund könnte auch im pH-Wert der angewendeten Fluoridierungsmittel, insbesondere des Gelees, liegen. So zeigt die Literatur, dass es bei Verwendung von neutralem Natriumfluorid an keinem der überprüften Materialien zu einer Veränderung der Härte oder der Oberflächenrauigkeit kam (*Strother et al. 1998*). Im Gegensatz dazu führt die lokale Applikation von sauren Gelen jedoch zu einer signifikanten Zunahme der Oberflächenrauigkeit und zu einem signifikanten Gewichtsverlust des Materials (*Yip et al. 1999 und 2001*). Glasionomerzemente und Komposere zeigen dabei eine deutlich höhere Veränderung der Oberflächenstruktur als Komposite.

Bezogen auf die vorliegende Studie ist davon auszugehen, dass der niedrige pH-Wert von elmex® gelée von ca. 5,2 zu oberflächlichem Anlösen und damit zu einer erhöhten mechanischen Retention des Fluorids an der Oberfläche führt. Da der erosive Effekt saurer Fluoridierungsmittel stärker auf Materialien mit einer niedrigen Säureresistenz einwirkt, könnte dies die signifikant höhere Zunahme der Fluoridfreisetzung beim Glasionomerezement und Kompomer im Vergleich zum Komposit mit erklären. Im Vergleich zu anderen Kompomeren weist das hier verwendete Hytac® jedoch eine erhöhte Säureresistenz auf (*Nicholson et al. 1999*).

In der vorliegenden Studie wurde beim Glasionomerezement und beim Kompomer eine zunehmende Fluoridfreisetzung nach viermaliger Applikation von elmex® gelée festgestellt. Ein solcher additiver Effekt der Fluoridfreisetzung ist bislang erst selten berichtet worden, findet sich aber in Übereinstimmung mit den Ergebnissen von *Rothwell et al. (1998)*. Die steigende Fluoridfreisetzung kann auch mit erhöhter Fluorideinlagerung in eine durch wiederholtes Anlösen mit dem sauren Gelee zunehmend retentivere Oberfläche erklärt werden.

Inwieweit die erhöhte Fluoridfreisetzung aus den Füllungsmaterialien nach lokaler Applikation von elmex® gelée klinisch von Bedeutung ist, muss zurückhaltend betrachtet werden. Zwar führt die Fluoridfreisetzung aus Füllungsmaterialien zu einer Verminderung der Demineralisation angrenzender Zahnhartsubstanzen und zu einer Reduzierung der Läsionstiefe und des Mineralverlustes (*Arends et al. 1990, Dijkman und Arends 1992, Dionysopoulos et al. 1998, Attar und Önen 2002*). *Buchalla et al. (1998)* und *Yamamoto et al. (2001)* konnten in ihren Studien zeigen, dass es keinen signifikanten Unterschied zwischen der in vitro und in vivo bzw. in situ gemessenen Fluoridaufnahme aus Füllungsmaterialien in die Zahnhartsubstanzen gibt. Bezogen auf die vorliegende Studie könnte man also davon ausgehen, dass die erhöhte Fluoridfreisetzung auch zu einer erhöhten Einlagerung von Fluorid in die Zahnhartsubstanzen führt und somit die Entstehung einer Sekundärkaries vermindert. Durch die Veränderung der Oberflächenstruktur kann es jedoch auch zu einer vermehrten Anlagerung von Plaquebakterien kommen (*Diaz-Arnold et al. 1995*), was dem kariostatischen Effekt fluoridfreisetzender Füllungsmaterialien entgegensteht.

Hinzu kommt, dass die Fluoridapplikation auf alte Glasionomerzemente nicht signifikant zu einer Erhöhung der Fluoridkonzentration in der aufgelagerten Plaque führt (Forss *et al.* 1995), wodurch ein hemmender Effekt auf das Bakterienwachstum nicht mehr vorhanden ist. Außerdem wiesen van Dijken *et al.* (1997) darauf hin, dass sich die Population kariogener Keime auf den Oberflächen verschiedener Materialien nicht unterscheidet und keine Korrelation zum Fluoridgehalt der jeweiligen Materialien aufweist.

Im Gegensatz dazu zeigen Friedl *et al.* (1997) allerdings, dass eine Korrelation zwischen der Fluoridfreisetzung und dem Einfluss auf das Bakterienwachstum besteht. Auch Seppä *et al.* (1993) gehen davon aus, dass durch die lokale Applikation von elmex® gelée der kariostatische Effekt alter Glasionomerzementfüllungen wieder hergestellt wird. Bezogen auf die vorliegende Studie könnte dann davon ausgegangen werden, dass durch den additiven Effekt der Fluoridfreisetzung nach wiederholter Touchierung mit elmex® gelée der kariostatische Effekt von Glasionomerzement sogar gesteigert werden kann.

Bei der zusammenfassenden Wertung der Fluoridfreisetzung aus fluoridhaltigen Füllungsmaterialien nach Applikation von elmex® gelée ist zu berücksichtigen, dass der Effekt der Fluoridfreisetzung aus den Füllungsmaterialien im Vergleich zur direkten Wirkung der Applikation des Gelees auf die Zahnhartsubstanzen vernachlässigbar sein dürfte (Duschner 1987). Eine andere Situation mag eventuell im Randspalt zwischen der Restauration und dem angrenzenden Zahn gegeben sein. Hier könnte ein kontinuierlich erhöhtes Fluoridangebot klinisch karieshemmend wirken. Da die Menge des freigesetzten Fluorids aus den Kompositen jedoch nur äußerst niedrige Werte aufweist, ist ein klinischer Effekt der Fluoridfreisetzung, -wiederaufnahme und erneuter Abgabe aus diesen Materialien sehr zweifelhaft. Allenfalls bei Glasionomerzementen und Kompomeren ist der vorgelegten Studie zufolge ein gesteigerter Fluoridierungseffekt zu erwarten, dessen Ausmaß vor allem nach wiederholter Geleeapplikation zunimmt.

Die Arbeitshypothesen lassen sich daher wie folgt beantworten:

1. Die Fluoridfreisetzung aus den untersuchten fluoridhaltigen Kompositen und Kompomeren kann, nachdem die der Fluoridapplikation unmittelbar folgende hohe Fluoridfreisetzung abgeklungen ist, durch Applikation eines hochdosierten Fluoridgels wieder erhöht werden.
2. Dies trifft auch dann zu, wenn die Füllungsmaterialien täglich mit einer geringen Fluoridkonzentration in Kontakt kommen.
3. Auch nach Applikation des Gelees zeigt Glasionomierzement einen höheren Fluoridumsatz als Komposite.

Die Arbeitshypothesen konnten somit bestätigt werden. Darüber hinaus wurde gezeigt, dass es nach viermaliger Applikation von elmex® gelée zu einer zunehmenden Fluoridfreisetzung aus dem Kompomer und dem Glasionomierzement kommt, was möglicherweise durch Erosions- und Retentionseffekte an der Materialoberfläche hervorgerufen wird.

## **6. ZUSAMMENFASSUNG**

Ziel der vorliegenden Studie war es, unter standardisierten Bedingungen die Fluoridfreisetzung und nach Applikation eines hochdosierten Aminfluoridgelees die anschließende erneute Fluoridfreisetzung aus einem Kompomer und zwei Hybridkompositen im Vergleich zu einem Glasionomerzement zu untersuchen. Von besonderem Interesse war dabei, inwiefern es im Verlauf viermaliger wöchentlicher Geleeapplikation zu einer Veränderung der anschließend freigesetzten Fluoridmenge kommt und welchen Einfluss eine regelmäßige Spülung der Materialien mit einer 1250-ppm-Natriumfluoridlösung hat.

Aus dem Glasionomerzement Ketac-Fil®, dem Kompomer Hytac® und den Hybridkompositen Solitaire® und Degufill® mineral wurden jeweils 12 standardisierte Materialproben in Teflonscheiben gelegt. Die Proben wurden nach dem Aushärten in jeweils 2,5 ml Aqua bidest. überführt und in zwei Teilgruppen aufgeteilt, wobei die erste Teilgruppe im Gegensatz zur zweiten Teilgruppe täglich für 3 Minuten in eine 1250-ppm-Natriumfluoridlösung getaucht wurde. Anschließend wurden alle Proben erneut in 2,5 ml Aqua bidest. überführt. Dieses Verfahren wurde täglich vier Wochen lang durchgeführt.

Erst nach Ablauf dieser Zeit und der damit verbundenen Abnahme der Fluoridfreisetzung auf ein konstantes, niedriges Niveau wurde mit der "Wiederaufladung" der Proben mit hochkonzentriertem Fluorid begonnen. Damit wurde erst jetzt mit den eigentlichen Maßnahmen zur Überprüfung der Studienhypothesen begonnen, welche sich über weitere vier Wochen erstreckten. Zur Fluoridierung wurden alle Proben für 3 Minuten mit jeweils 0,5 ml elmex® gelée touchiert und anschließend 2 Minuten unter fließendem Wasser mit Hilfe einer mittelharten Zahnbürste abgespült. Dieser Vorgang wurde an den Versuchstagen 0, 7, 14 und 21 durchgeführt.

Mit Hilfe einer ionensensitiven Fluoridelektrode wurde der Fluoridgehalt im Lagerungsmedium bestimmt. Die Messung der 24-Stunden-Fluoridfreisetzung wurde

vor Beginn der Geleegabe und dann jeweils am 1., 2., 4. und 7. Tag nach der Fluoridierung mit elmex® gelée durchgeführt. Die freigesetzte Fluoridmenge wurde nach Umrechnung als  $\mu\text{g}/\text{cm}^2$  ausgewiesen.

Nach der Applikation von elmex® gelée gaben alle untersuchten Materialien vermehrt Fluorid ab. Dabei wurde bei allen Materialien die größte Menge jeweils in den ersten 24 Stunden nach Geleeanwendung bestimmt. Der Glasionomerzement Ketac-Fil® zeigte über den gesamten Versuchszeitraum den höchsten Fluoridumsatz. Dies galt sowohl für die täglich fluoridierten als auch für die nicht täglich fluoridierten Proben. Dabei setzte die Teilgruppe der täglich fluoridierten Proben signifikant mehr Fluorid frei als die andere Teilgruppe. Auch bei dem Kompomer Hytac®, das den zweithöchsten Fluoridumsatz zeigte, konnte ein signifikanter Unterschied zwischen den täglich fluoridierten und den nicht fluoridierten Proben verzeichnet werden. Die Hybridkomposite Solitaire® und Degufill® mineral setzten während der gesamten Versuchsdauer am wenigsten Fluorid um. Bei beiden Materialien zeichnete sich erst mit zunehmender Versuchsdauer ein signifikanter Unterschied zwischen den täglich fluoridierten Proben und den nicht fluoridierten Proben ab.

Nach viermaliger Applikation von elmex® gelée wurden aus dem Glasionomerzement Ketac-Fil® und aus dem Kompomer Hytac® zunehmende Mengen an Fluorid freigesetzt. Dies kann als additiver Effekt der wiederholten Fluoridapplikation aufgefasst werden. Ursache hierfür kann die Aufnahme von Fluorid in die geringfügig wasserlöslichen Materialien sein. Der Effekt kann jedoch auch durch eine Veränderung der Oberflächenstruktur, die durch den erosiven Effekt des niedrigen pH-Wertes von elmex® gelée hervorgerufen wird, und die damit einhergehende erhöhte mechanische Retention des Fluoridierungsmittels bedingt sein. Bei den Kompositen kam es zu keinem additiven Effekt der freigesetzten Fluoridmenge.

Auch wenn für alle Materialien eine erhöhte Fluoridfreisetzung nach lokaler Applikation eines hochdosierten Aminfluoridgels gezeigt werden konnte, bleibt die klinische Relevanz der vor allem aus den Kompositen insgesamt sehr niedrigen Fluoridfreisetzung fraglich.

## **7. LITERATURVERZEICHNIS**

*Arends, J., Nelson, D.G.A., Dijkman, A.G., Jongebloed, W.L.:* Effect of various fluorides on enamel structure and chemistry. In: *Guggenheim, B.* (ed.), *Cariology today*, Karger, Basel 1984

*Arends, J., Ruben, J., Dijkman, A.G.:* Effect of fluoride release from a fluoride-containing composite resin on secondary caries: an in vitro study. *Quintessence Int* 21, 671-674 (1990)

*Asmussen, E., Peutzfeldt, A.:* Long-term fluoride release from a glass ionomer cement, a compomer, and from experimental resin composites. *Acta Odontol Scand* 60, 93-97 (2002)

*Attar, N., Önen, A.:* Fluoride release and uptake characteristics of aesthetic restorative materials. *J Oral Rehabil* 29, 791-798 (2002)

*Attar, N., Önen, A.:* Artificial formed caries-like lesions around esthetic restorative materials. *J Clin Pediatr Dent* 26, 289-296 (2002)

*Attin, T., Hellwig, E., Klimek, J.:* Der Einfluss einer niedrig dosierten Fluoridapplikation auf initiale Kariesläsionen. *Dtsch Zahnärztl Z* 52, 770-773 (1992)

*Attin, T., Kielbassa, A.M., Plogmann, S., Hellwig, E.:* Fluoridfreisetzung aus Kompomeren im sauren und neutralen Milieu. *Dtsch Zahnärztl Z* 51, 675-678 (1996)

*Attin, T., Vataschki, M., Hellwig, E.:* Properties of resin-modified glass-ionomer restorative materials and two polyacid-modified resin composite materials. *Quintessence Int* 27, 203-209 (1996)

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

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

*Bala, O., Uçtasli, M., Can, H., Türköz, E., Can, M.:* Fluoride release from various restorative materials. *Journal Nihon Univ School Dent* 39, 123-127 (1997)

*Balmelli, O.P., Regolati, B., Mühlemann, H.R.:* Inhibition of streptococcal deposits on Rats Molars by Amine Fluoride. *Helv Odontol Acta* 18, 45-53 (1974)

*Barbakow, F. Sener, B., Saltini, C.:* In vitro enamel fluoride retention after brushing with amine fluoride dentifrices containing 1250 and 250 ppm fluoride. *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 96, 1504-1511 (1986)

*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 cerment restorations and their effect on interproximal growth of mutans streptococci. *Pediatr Dent* 12, 20-23 (1990)

*Buchalla, W., Attin, T., Kalb, K., Hellwig, E.:* Fluoridabgabe und -aufnahme eines experimentellen Komposits in vitro und in situ. *Dtsch Zahnärztl Z* 53, 707-712 (1998)

*Buchalla, W., Attin, T., Schulte-Mönting, J., Hellwig, E.:* Fluoride uptake, retention, and remineralization efficacy of a highly concentrated fluoride solution on enamel lesions in situ. *J Dent Res* 81, 329-333 (2002)



*Buchmann, G., Klimm, W., Geurtsen, W.:* Der Füllungsrandspalt und dessen mikroökologische Bedeutung. Dtsch Zahnärztl Z 47, 188-191 (1992)

*Cahen, P.M., Frank, R.M., Turlot, J.C., Jung, M.T.:* Comparative unsupervised clinical trial on caries inhibition effect of monofluorophosphate and amine fluoride dentifrices after 3 years in Strasbourg, France. Community Dent Oral Epidemiol 10, 238-241 (1982)

*Cain, B.E., Corpron, R.E., Fee, C.L., Strachan, D.S., Kowalski, C.J.:* Dose related remineralization using intraoral fluoride-releasing devices in situ. Caries Res 28, 284-290 (1984)

*Castro, G.W., Gray, S.E., Buikema, D.J., Reagan, S.E.:* The effect of various surface coatings on fluoride release from glass-ionomer cement. Oper Dent 19, 194-198 (1994)

*Chan, J.C.-Y., Hill, F.J., Newman, H.W.:* Uptake of fluoride by sound and artificially carious enamel in vitro following application of topical sodium and amine fluorides. J Dent 19, 110-115, (1991)

*Cohen, B.I., Pagnillo, M.K., Deutsch, A.S., Musikant, B.L.:* A five year study: Fluoride release of four reinforced composite resins. Oral Health 88, 81-86 (1998)

*Creanor, S.L., Carruthers, L.M.C., Saunders, W.P., Strang, R.:* Fluoride uptake and release of glass ionomer cements. Caries Res 28, 322-328 (1994)

*Creanor, S.L., Saunders, W.P., Carruthers, L.M.C., Strang, R., Foye, R.H.:* Effect of extrinsic fluoride concentration on the uptake and release of fluoride from two glass ionomer cements. Caries Res 29, 424-426 (1995)

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

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

*Deligeorgi, V., Mjör, I.A., Wilson, N.H.F.:* An overview of reasons for placement and replacement of restorations. *Primary Dental Care* 8, 5-11 (2001)

*Diaz-Arnold, A.M., Wistrom, D.W., Swift jr., E.J.:* Topical fluoride and glass ionomer microhardness. *Am J Dent* 8, 134-136 (1995)

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

*Dijkman, G.E.H.M., Arends, J.:* Secondary caries in situ around fluoride-releasing light-cured composite: A quantitative model investigation on four materials with fluoride content between 0 and 26 Vol%. *Caries Res* 26, 351-357 (1992)

*Dijkman, G.E.H.M., de Vries, J., Lodding, A., Arends, J.:* Long-term fluoride release of visible light-activated composites in vitro: A correlation with in situ demineralization data. *Caries Res* 27, 117-123 (1993)

*Dionysopoulos, P., Kotsanos, N., Papadogiannis, Y., Konstantinidis, A.:* Artificial secondary caries around two new F-containing restoratives. *Oper Dent* 23, 81-86 (1998)

*Donly, K.J., Nelson, J.J.:* Fluoride release of restorative materials exposed to a fluoridated dentifrice. *J Dent Child* 64, 249-250 (1997)

*Donly, K.J., Segura, A., Wefel, J.S., Hogan, M.M.:* Evaluating the effects of fluoride-releasing dental materials adjacent interproximal caries. *J Am Dent Assoc* 130, 817-825 (1999)

*Dunne, S.M., Goolnik, J.S., Millar, B.J., Seddon, R.P.:* Caries inhibition by a resin-modified and a conventional glass ionomer cement, in vitro. *J Dent* 24, 91-94 (1996)

*Duschner, H.:* Fluorid und seine Reaktionsmechanismen im Biotop Mundhöhle. Zahnärztl Mitt 77, 360-362 (1987)

*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)

*Embleton, J.V., Newman, H.N., Wilson, M.:* Influence of growth mode and sucrose on susceptibility of streptococcus sangius to amine fluorides and amine fluoride-inorganic fluoride combinations. Appl Environ Microbiol 64, 3503-3506 (1998)

*Fischer-Brandies, H., Kluge, G., Theusner, J., Häusker, K.:* Fluorverteilung im Schmelz bei Einsatz von Glasionomern 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)

*Forss, H., Jokinen, J., Spets-Happonen, S., Seppä, L., Luoma, H.:* Fluoride and mutans streptococci in plaque grown on glass ionomer and composite. Caries Res 25, 454-458 (1991)

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

*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.* : Fluoride release of glass ionomers. J Esthet Dent 6, 216-222 (1994)

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

*Friedl, K.H., Schmalz, G., Hiller, K.-A.*: Flüssigkeitskulturen zur Prüfung der Wirkung zahnärztlicher Werkstoffe auf das Bakterienwachstum. Dtsch Zahnärztl Z 47, 826-831 (1992)

*Friedl, K.H., Hiller, K.A., Schmalz, G.*: Placement and replacement of composite restorations in Germany. Oper Dent 20, 34-38 (1995)

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

*Gao, W., Smales, R.J.*: Fluoride release/uptake of conventional and resin-modified glass ionomers and compomers. J Dent 29, 301-306 (2001)

*Garcia-Godoy, F., Chan, D.C.N.*: Long-term fluoride release from glass ionomer-lined amalgam restorations. Am J Dent 4, 223-225 (1991)

*Gehring, F.*: Wirkung von Aminfluorid und Natriumfluorid auf Keime der Plaqueflora. Dtsch Zahnärztl Z 38, 36-40 (1983)

*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 Glasionomerzementen. Dtsch Zahnärztl Z 52, 668-669 (1997)

*Gülzow, H.-J., Lang, G.:* Klinisch experimentelle Untersuchung über die Wirksamkeit zur Kariesprophylaxe angewandter Aminfluoride. Dtsch Zahnärztl Z 22, 414-418 (1967)

*Gülzow, H.-J.:* Die lokale Anwendung der Aminfluoride auf der Schmelzoberfläche als kariesprophylaktisch wirksame Maßnahme. Dtsch Zahnärztl Z 23, 898-904 (1968)

*Gülzow, H.-J.:* Präventive Zahnheilkunde. Carl Hanser, München 1995, S. 39-53, S.117-121, S. 127-131 und S. 142-152

*Han, L., Abu-Bakr, N., Okamoto, A., Iwaku, M.:* Study of the fluoridated adhesive resin cement - fluoride release, fluoride uptake and acid resistance of tooth structures -. Dent Mater J, 114-122 (2001)

*Han, L., Cv, E., Li, M., Niwano, K., Ab, N., Okamoto, A., Honda, N., Iwaku, M.:* Effect of fluoride mouth rinse on fluoride releasing and recharging from aesthetic dental materials. Dent Mater J 21, 285-295 (2002)

*Han, L., Edward, C., Okamoto, A., Iwaku, M.:* A comparative study of fluoride releasing adhesive resin materials. Dent Mater J 21, 9-19 (2002)

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

*Hatibovic-Kofman, S, Koch, G., Ekstrand, J.:* Glass ionomer as a rechargeable fluoride system. J Dent Res 7, 65-73 (1994)

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

*Hellwig, E.:* Fluoride retention in dentin after topical application of amine fluoride. J Dent Res 71, 1558-1560 (1992)

*Hellwig, E., Klimek, J., Attin, T.:* Einführung in die Zahnerhaltung. Urban & Schwarzenberg, München, 1995

*Hörsted-Bindslev, P., Larsen, M.J.:* Release of fluoride from conventional and metal-reinforced glass-ionomer cements. Scand J Dent Res 98, 451-455 (1990)

*Hörsted-Bindslev, P.:* Fluoride release from alternative restorative materials. J Dent 22, Suppl 1, 17-20 (1994)

*Hotta, M., Li, Y., Sekine, I.:* Mineralization in bovine dentine adjacent to glass-ionomer restorations. J Dent 29, 211-215 (2001)

*Hotz, P.R.:* Karies entlang dem Füllungsrand und ihre Verhütung durch Fluoride. Schweiz Monatsschr Zahnmed 92, 310-314 (1982)

*Itota, T., Nakabo, S., Iwai, Y., Konishi, N., Nagamine, M., Torii, Y., Yoshiyama, M.:* Effect of adhesives on the inhibition of secondary caries around compomer restorations. Oper Dent 26, 445-450 (2001)

*Kawai, K., Heaven, T.J., Retief, D.H.:* In vitro fluoride uptake from three fluoride-containing composites and their acid resistance. J Dent 25, 291-296 (1997)

*Kawai, K., Tantbirojin, D., Kamalawat, A.S., Hasegawa, T., Retief, D.H.:* In vitro enamel and cementum fluoride uptake from three fluoride-containing composites. Caries Res 463-469 (1998)

*Kidd, E.A., Toffenetti, F., Mjör, I.A.:* Secondary caries. Inter Dent J 42, 127-138 (1992)

*Kielbassa, A.M., Schulte-Monting, J., Garcia-Godoy, F., Meyer-Lueckel, H.:* Initial in situ secondary caries formation: Effect of various fluoride-containing restorative materials. Oper Dent 28, 765-772 (2003)

*Klinger, H.G., Wiedemann, W.:* Enhancement of in-vivo remineralization of approximal initial caries in man by an organic and inorganic remineralization agent. *Archs Oral Biol* 31, 269-272 (1986)

*Knop, B., Schiffner, U.:* Fluoridabgabe aus Kompomeren unter dem Einfluss regelmäßiger Fluoridapplikation. *Dtsch Zahnärztl Z* 52, 816-818 (1997)

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

*Larsen, M.J., Fejerskov, O.:* Chemical and structural challenges in remineralization of dental enamel lesions. *Scand J Dent Res* 97, 285-286 (1989)

*Lüschner, B., Regolati, B., Mühlemann, H.R. :* Effect of amine fluorides on plaque and caries. *Helv odontol acta* 18, Suppl. 8, 71-78 (1974)

*Marthaler, T.M., O'Mullane, D.M., Vrbic, V.:* The prevalence of dental caries in Europe 1990-1995, *Caries Res* 30, 237-255 (1996)

*Mayer, T., Lenhard, M., Pioch, Th.:* Der Einfluss plastischer Füllungsmaterialien auf das Demineralisationsverhalten von Zahnschmelz. *Dtsch Zahnärztl Z*, 51, 235-237 (1996)

*McKnight-Hanes, C., Whitford, G.:* Fluoride release from three glass ionomer materials and the effects of varnishing with or without finishing. *Caries Res* 26, 345-350 (1992)

*Millar, B.J., Abiden, F., Nicholson, J.W.:* In vitro caries inhibition by polyacid-modified composite resins (compomers). *J Dent* 26, 133-136 (1998)

*Miller, W.D.:* Die Mikroorganismen der Mundhöhle. Thieme, Leipzig 18893

*Mjör, I.A.:* Placement and replacement of restorations. *Oper Dent* 6, 49-54 (1981)

*Mjör, I.A., Dahl, J.E., Moorhead, J.E.:* Placement and replacement of restorations in primary teeth. *Acta Odontol Scand* 60, 25-28 (2002)

*Mühlemann, H.R., Schmid, H., König, K.G.:* Enamel solubility reduction studies with inorganic and organic fluoride. *Helv Odont Acta* 1, 23-33 (1957)

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

*Mühlemann, H.R., Strub, J.R.:* Inhibition of plaque growth with taurolin vantocil and amine fluoride. *Helv Odont Acta*, Oktober 1975, 57-60

*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. *Archs Oral Biol* 38, 1093-1098 (1993)

*Nicholson, J.W., Millar, B.J., Czarnecka, B.:* Storage of polyacid-modified composites (“compomers”) in lactic acid solution. *Dent Mater* 15, 413-416 (1999)

*Papagiannoulis, L., Kakkoura, A., Eliades, G.:* In vivo vs. in vitro anticariogenic behavior of glass-ionomer and resin composite restorative materials. *Dent Mater* 18, 561-569 (2002)

*Peng, D., Smales, R.J., Yip, H.K., Shu, M.:* In vitro fluoride release from aesthetic restorative materials following recharging with APF gel. *Aust Dent J* 45, 198-203 (2000)

*Pereira, P.N., Inokoshi, S., Tagami, J.:* In vitro secondary caries inhibition around fluoride releasing materials. *J Dent* 26, 505-510 (1998)



*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)

*Preston, A.J., Agalamanyi, E.A., Higham, S.M., Mair, L.H.:* The recharge of esthetic dental restorative materials with fluoride in vitro – two years` results. *Dent Mater* 19, 32-37 (2003)

*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)

*Rentsch, H., Kühner, M.:* Die Kunst, das Fluorid dorthin zu bringen, wo es gebraucht wird. *Niedersächsisches Zahnärzteblatt* 10, 784-786 (1997)

*Retief, D.H., Bradley E.L., Denton, J.C., Switzer, P.:* Enamel and cementum fluoride uptake from a glass ionomer cement. *Caries Res* 18, 250-257 (1984)

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

*Robinson, C.:* Dental enamel. CRC Press, Boca Raton USA (1995)

*Rothwell, M., Anstice, H.M., Pearson, G.J.:* The uptake and release of fluoride by ion-leaching cements after exposure to toothpaste. *J Dent* 26, 591-597 (1998)

*Rzanny, A., Welker, D.:* Werkstoffkundliche Eigenschaften von Feinst-Hybrid-Komposits und Kompomeren. *Zahnärztl Welt Rundsch* 12, 743-748 (1998)

*Schiffner, U., von Bröckel, U.:* Die Fluoridabgabe aus drei fluoridhaltigen Kompositen im Vergleich zur Fluoridfreisetzung aus einem Glasionomercement. *Dtsch Zahnärztl Z* 54 (9), (1999)

*Schiffner, U., Grundmann, I.:* Influence of salivary ions and pellicle on release and uptake of fluoride by glass ionomer cement. *Caries Res* 34, 339 (2000)

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

*Schiffner, U., Regel, I., Saul, L.:* Zur Fluoridabgabe aus Glasionomerzement und dessen Aufnahme im Zahnschmelz in Gegenwart von Speichel. *Biomaterialien* 5 (51), 86-87 (2004)

*Schmidt, H.:* Aminfluoride in der Kariesprophylaxe. *Swiss Dent* 2, 13-23 (1981)

*Sener-Zanola, B., Zollinger-Zuber, R., Marcuard-Merz, R.:* Effect of one or three applications of amine fluoride gel on the in vitro fluoride concentration of human enamel. *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 94, 871-877 (1984)

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

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

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

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

*Shani, S., Friedman, M., Steinberg, D.:* The anticariogenic effect of amine fluorides on *Streptococcus sobrinus* and glycosyltransferase in biofilms. *Caries Res* 34, 260-267 (2000)

*Shaw, A.J., Carrick, T., McCabe, J.F.:* Fluoride release from glass-ionomer and compomer restorative materials: 6-month data. *J Dent* 26, 355-369 (1998)

*Shern, R., Swing, K.W., Crawford, J.J.:* Prevention of plaque formation by organic fluorides. *J Oral Med* 25, 93-97 (1970)

*Soltész, U.:* Polymerisationsschrumpfung einiger neuerer Komposit-Füllungswerkstoffe. *Zahnärztl Mitt* 88, 1404-1405 (1998)

*Soltész, U., Koplín, C.:* Polymerisationsschrumpfung neuer Komposit-Füllungswerkstoffe. *Zahnärztl Mitt* 94, 982-988 (2004)

*Staudt-Hockmann, C.:* Kariesprotektion ohne Mehraufwand. *Dental Magazin* 1, 24-26 (1997)

*Strother, J.M., Kohn, D.H., Dennison, J.B., Clarkson, B.H.:* Fluoride release and re-uptake in direct tooth colored restorative materials. *Dent Mater* 14, 129-136 (1998)

*Strübig, W.:* Die lokale Wirkung verschiedener Fluoridierungsmittel. *Monatsschrift Kinderheilk* 131, 438-440 (1983)

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

*Svandberg, M., Mjör, I.A., Orstavik, D.:* Mutans streptococci in plaque from margins of amalgam, composite and glass ionomer restorations. *J Dent Res* 69, 861-864 (1990)

*Tam, L.E., Chan, G.P., Yim, D.:* In vitro caries inhibition effect by conventional and resin-modified glass-ionomer restorations. *Oper Dent* 22, 4-14 (1997)

*Takahashi, K., Emilson, C.G., Birkhed, O.:* Fluoride release in vitro from various glass-ionomer cements and resin composites after exposure to NaF solutions. *Dent Mater* 9, 350-354 (1993)

*ten Cate, J.M.:* The effect of fluoride on enamel de- and remineralization in vitro und in vivo. In: *Guggenheim, B.* (ed.), *Cariology today*, Karger, Basel 1984

*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)

*Torii, Y., Itota, T., Okamoto, M., Nakabo, S., Nagamine, M., Inone, K.:* Inhibition of artificial secondary caries in root by fluoride-releasing restorative materials. *Oper Dent* 26, 36-43 (2001)

*Tsanidis, V., Koulourides, T.:* An in vitro model for assessment of fluoride uptake from glass-ionomer cements by dentine and its effect on acid resistance. *J Dent Res* 71, 7-12 (1992)

*van Dijken, J.W.V.:* A clinical evaluation of anterior conventional, microfiller and hybrid composite resin fillings: A 6 year follow up study. *Acta Odontol Scand* 44, 357-367 (1986)

*van Dijken, J.W.V., Kalfas, S., Litra, V., Olivby, A.:* Fluoride and mutans streptococci levels in plaque and aged restorations of resin-modified glass ionomer cement, compomer and resin composite. *Caries Res* 31, 379-383 (1997)

*van Loveren, C.:* The antimicrobial action of fluoride and its role in caries inhibition. *J Dent Res* 69, 676-681 (1990)

*Vermeersch, G., Leloup, G., Vreven, J.:* Fluoride release from glass ionomer cements, compomers and resin composites. *J Oral Rehabil* 28, 26-32 (2001)

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

*Weerheijm, K.L., de Soet, J.J., van Amerongen, W.E., de Graaff, J.:* The effect of glass ionomer cement on carious dentine: an in vivo study. *Caries Res* 27, 417-423 (1993)

*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)

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

*Wilson, N.H.F., Wilson, M.A., Smith, G.A.:* A clinical trial of a visible light cured posterior composite resin restorative material: Four-year results. *Quintessence Int* 19, 133-139 (1988)

*Yamamoto, H., Iwami, Y., Unezaki, T., Tomii, Y., Ebisu, S.:* Fluoride uptake in human teeth from fluoride-releasing restorative material in vivo an in vitro: two-dimensional mapping by EPMA-WDX. *Caries Res* 35, 111-115 (2001)

*Yap, A.U.J., Khor, E., Foo, S.H.:* Fluoride release and antibacterial properties of new-generation tooth-colored restoratives. *Oper Dent* 24, 297-305 (1999)

*Yap, A.U.J., Tham, S.Y., Zhu, L.Y., Lee, H.K.:* Short-term fluoride release from various aesthetic restorative materials. *Oper Dent* 27, 259-265 (2002)

*Yip, K.H.-K., Smales, R.J.:* Fluoride release and uptake by aged resin-modified glass ionomers and a polyacid-modified composite. *Int Dent J* 49, 217-225 (1999)

*Yip, K.H.-K., Lam, W.T., Smales, R.J.:* Surface roughness and weight loss of esthetic restorative materials related to fluoride release and uptake. *J Clin Pediatr Dent* 23, 321-326 (1999)

*Yip, K.H.-K., Peng, D., Smales, R.J.:* Effects of APF-gel on the physical structure of compomers and glass ionomer cements. *Oper Dent* 26, 231-238 (2001)

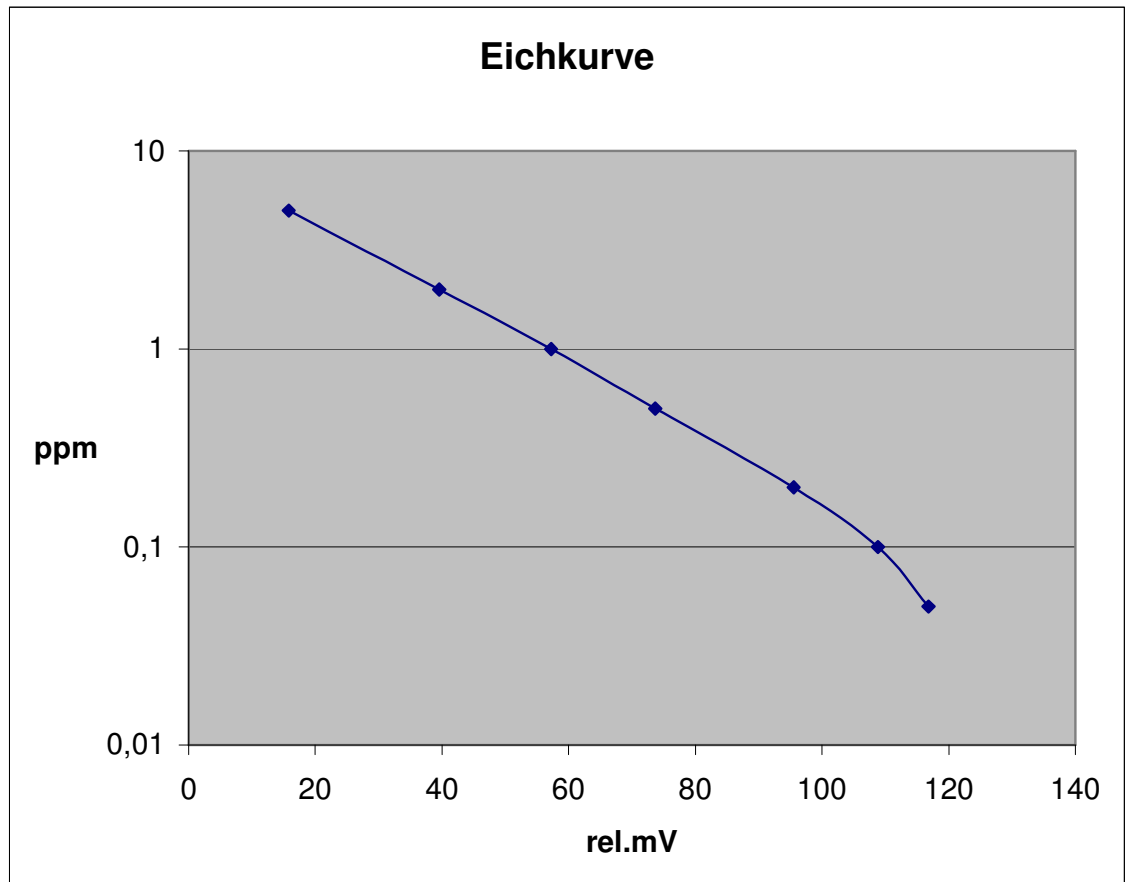
*Young, A., von der Fehr, F.R., Sønju, T., Nordbø, H.:* Fluoride release and uptake in vitro from a composite resin and two orthodontic adhesives. *Acta Odontol Scand* 54, 223-228 (1996)

## ANHANG

Tab. 8: Messwerte der Eichreihe

rel. mV ppm F-	Lösung 1	Lösung 2	Lösung 3	Lösung 4	Lösung 5	Mittelwert
0,5	73,7	73,7	73,7	73,7	73,7	73,7
0,05	117,5	118	117,8	114,1	116,4	116,8
0,1	108,4	109,9	110,2	108,8	106,7	108,8
0,2	93,4	97,6	92,9	97,4	96,3	95,5
1	57,8	55,7	56,9	57,9	57,7	57,2
2	39,8	39,1	39,3	39,5	39,9	39,5
5	15,1	15	15,7	16,9	16,4	15,8

Abb. 11: Eichkurve



Tab. 9: Einzelmesswerte Solitaire®

Solitaire®	Tag 0			Tag 1			Tag 2			Tag 4			Tag 7			Tag 8		
Probe	rel.mV	ppm	µg/cm²	rel.mV	ppm	µg/cm²	rel.mV	ppm	µg/cm²	rel.mV	ppm	µg/cm²	rel.mV	ppm	µg/cm²	rel.mV	ppm	µg/cm²
1	93,7	0,213	4,226	86	0,305	6,052	90,9	0,243	4,822	111,1	0,081	1,608	114,1	0,065	1,29	88,7	0,27	5,357
2	100,2	0,154	3,056	84,4	0,328	6,508	96,1	0,189	3,75	114,2	0,064	1,27	118	0,045	0,893	92,7	0,223	4,424
3	105,4	0,117	2,322	86,3	0,3	5,952	97,5	0,176	3,429	113,8	0,066	1,31	119,3	0,038	0,754	87,6	0,283	5,615
4	107,3	0,103	2,044	78,1	0,422	8,372	97,2	0,179	3,552	109,6	0,089	1,776	119,4	0,038	0,754	89,3	0,263	5,218
5	110,4	0,084	1,666	80,8	0,38	7,54	98,6	0,167	3,314	113,6	0,067	1,33	118,8	0,041	0,813	78,6	0,416	8,253
6	113,4	0,068	1,35	82,7	0,35	6,944	97,2	0,179	3,492	114,6	0,062	1,23	116,5	0,053	1,052	76,6	0,448	8,888
Mittelwert	105,07	0,123	2,444	83,05	0,348	6,894	96,25	0,189	3,748	112,82	0,072	1,416	117,68	0,047	0,926	85,58	0,317	6,293
7	120,9	0,031	0,616	85,6	0,31	6,15	105,7	0,114	2,778	103,8	0,126	2,5	135	0	0	90,9	0,243	4,821
8	124,8	0	0	76,9	0,442	8,828	106,8	0,107	2,122	104,7	0,121	2,4	133,9	0	0	88	0,28	5,555
9	124,6	0	0	72,4	0,517	10,258	104,7	0,121	2,4	110,2	0,086	1,706	133,1	0	0	86,9	0,292	5,793
10	125,9	0	0	78,8	0,41	8,134	103,8	0,127	2,52	110,8	0,082	1,626	131,5	0	0	78	0,425	8,432
11	130,1	0	0	81,6	0,368	7,302	107,4	0,102	2,024	113,2	0,069	1,368	134,1	0	0	89,2	0,264	5,238
12	129,9	0	0	70,7	0,57	11,308	106,2	0,11	2,182	112,6	0,072	1,428	132,7	0	0	91,7	0,235	4,662
Mittelwert	126,03	0,005	0,102	77,67	0,431	8,664	105,77	0,114	2,338	109,22	0,093	1,838	133,38	0	0	87,45	0,289	5,75



	Tag 9			Tag 11			Tag 14			Tag 15			Tag 16			Tag 18		
Probe	rel.mV	Ppm	µg/cm <sup>2</sup>	rel.mV	ppm	µg/cm <sup>2</sup>	rel.mV	ppm	µg/cm <sup>2</sup>	rel.mV	ppm	µg/cm <sup>2</sup>	rel.mV	ppm	µg/cm <sup>2</sup>	rel.mV	ppm	µg/cm <sup>2</sup>
1	84,3	0,327	6,488	99,7	0,157	3,115	98,9	0,164	3,254	85,6	0,31	6,15	96,5	0,185	3,67	98,7	0,166	3,293
2	90,2	0,252	5	105,6	0,115	2,282	100,3	0,153	3,036	89,5	0,26	5,158	99,3	0,161	3,194	98,9	0,164	3,254
3	92,6	0,224	4,444	105,8	0,113	2,242	102,3	0,137	2,718	86,8	0,293	5,813	97,9	0,173	3,432	99,7	0,157	3,115
4	90,7	0,245	4,861	104,9	0,119	2,361	100	0,155	3,075	83,5	0,339	6,726	96,7	0,183	3,631	100	0,155	3,075
5	89,9	0,256	5,079	103,4	0,129	2,559	101,5	0,144	2,857	83,8	0,334	6,627	95,2	0,198	3,928	101,8	0,142	2,817
6	93,1	0,219	4,345	106,1	0,111	2,202	100,6	0,15	2,976	77,9	0,428	8,492	96,4	0,186	3,69	100,4	0,152	3,016
Mittelwert	90,13	0,254	5,036	104,25	0,124	2,46	100,6	0,151	2,986	84,53	0,327	6,494	97	0,181	3,591	99,92	0,156	3,095
7	101	0,147	2,916	104,1	0,124	2,46	113,5	0,068	1,349	84,6	0,325	6,448	105,4	0,117	2,321	115,4	0,058	1,151
8	100,9	0,148	2,936	106,2	0,11	2,182	114,6	0,062	1,23	84,4	0,328	6,508	107	0,105	2,083	112	0,076	1,508
9	100,7	0,149	2,956	107,6	0,102	2,024	114,3	0,064	1,27	85,2	0,316	6,269	106,7	0,107	2,123	113	0,07	1,389
10	102	0,14	2,778	110,4	0,084	1,667	114,4	0,063	1,25	83,3	0,342	6,785	105,2	0,118	2,341	115	0,06	1,19
11	101,8	0,142	2,817	112,8	0,072	1,428	113,7	0,067	1,329	75,8	0,465	9,226	105,1	0,118	2,341	112,8	0,071	1,409
12	99,4	0,161	3,214	109,2	0,092	1,825	114,2	0,064	1,27	78,5	0,419	8,313	106,4	0,109	2,163	114,1	0,065	1,29
Mittelwert	100,96	0,148	2,936	108,38	0,097	1,931	114,12	0,065	1,283	81,97	0,366	7,258	105,97	0,112	2,229	113,72	0,067	1,323

	Tag 21			Tag 22			Tag 23			Tag 25			Tag 28		
Probe	rel.mV	Ppm	µg/cm²	rel.mV	ppm	µg/cm²	rel.mV	ppm	µg/cm²	rel.mV	ppm	µg/cm²	rel.mV	ppm	µg/cm²
1	108,3	0,097	1,925	85,6	0,31	6,15	98,7	0,166	3,293	101,5	0,144	2,857	110,8	0,082	1,627
2	107,9	0,099	1,964	89,7	0,257	5,099	97,5	0,176	3,492	101,8	0,142	2,817	112,3	0,074	1,468
3	110,2	0,086	1,706	86,9	0,292	5,793	99,8	0,156	3,095	102,5	0,136	2,698	113,9	0,066	1,309
4	102,4	0,137	2,718	88,3	0,276	5,476	98,7	0,166	3,293	103,2	0,131	2,599	111,6	0,078	1,548
5	106,2	0,11	2,182	81,5	0,37	7,341	96,5	0,185	3,67	102,6	0,135	2,678	112,4	0,073	1,448
6	106,9	0,106	2,103	83,9	0,333	6,607	98,8	0,165	3,274	102,1	0,139	2,758	112,7	0,072	1,428
Mittelwert	106,98	0,106	2,1	85,98	0,307	6,078	98,33	0,169	3,353	102,29	0,138	2,735	112,28	0,074	1,471
7	110,2	0,086	1,706	89,2	0,264	5,238	107,3	0,103	2,044	110,5	0,084	1,667	122,5	0	0
8	121,5	0,027	0,536	86,3	0,3	5,952	105,4	0,117	2,321	110,5	0,084	1,667	122,3	0,017	0,337
9	123,6	0	0	85,6	0,31	6,15	110,4	0,084	1,667	110,9	0,082	1,627	120,5	0,033	0,655
10	121,9	0,024	0,476	86,9	0,292	5,793	102,8	0,134	2,659	112,1	0,075	1,488	121,4	0,027	0,536
11	123,2	0	0	84,3	0,329	6,527	108,2	0,097	1,925	113,4	0,068	1,349	121,9	0,024	0,476
12	120,2	0,034	0,675	87	0,29	5,754	103,2	0,131	2,599	112,6	0,072	1,428	120,6	0,033	0,655
Mittelwert	120,1	0,029	0,565	86,55	0,298	5,902	106,22	0,111	2,203	111,67	0,078	1,538	121,53	0,022	0,443

Tab. 10: Einzelmesswerte Degufill® mineral

Degufill® mineral	Tag 0			Tag 1			Tag 2			Tag 4			Tag 7			Tag 8		
Probe	rel.mV	ppm	µg/cm²	rel.mV	ppm	µg/cm²	rel.mV	ppm	µg/cm²	rel.mV	ppm	µg/cm²	rel.mV	ppm	µg/cm²	rel.mV	ppm	µg/cm²
13	130,7	0	0	93,3	0,217	4,306	106,5	0,108	2,142	113,9	0,066	1,31	122,9	0	0	105,2	0,118	2,341
14	130	0	0	83,6	0,338	6,706	110,7	0,083	1,646	114,2	0,064	1,27	129,4	0	0	97,8	0,174	3,452
15	132,9	0	0	91,3	0,239	4,742	111,3	0,079	1,568	99,1	0,163	3,234	128,7	0	0	104,9	0,119	2,361
16	129,2	0	0	90,7	0,245	4,86	107,1	0,104	2,064	96,7	0,183	3,63	121,8	0,025	0,496	95,2	0,2	3,968
17	134,5	0	0	91,7	0,235	4,662	111,4	0,079	1,568	87,6	0,284	5,634	128,7	0	0	100,4	0,152	3,016
18	134	0	0	94,8	0,202	4,008	114,8	0,061	1,21	94,6	0,204	4,048	129,9	0	0	98,3	0,17	3,373
Mittelwert	131,88	0	0	90,9	0,246	4,88	110,3	0,086	1,7	101,02	0,161	3,188	126,9	0,004	0,083	100,3	0,156	3,085
19	143,9	0	0	77,2	0,44	8,73	120,9	0,031	0,616	110,2	0,086	1,706	126,1	0	0	95,8	0,192	3,809
20	146	0	0	89,2	0,264	5,238	123	0	0	110,3	0,085	1,686	128,4	0	0	95,3	0,197	3,908
21	145,9	0	0	91,8	0,234	4,642	105	0,779	2,36	89,1	0,265	5,258	123,9	0	0	99,1	0,163	3,234
22	146,1	0	0	89,7	0,257	5,098	102,9	0,133	2,638	110,7	0,083	1,646	127,6	0	0	91,1	0,241	4,781
23	148,4	0	0	88,4	0,274	5,436	94	0,21	4,166	112,3	0,074	1,468	129,8	0	0	93,1	0,219	4,345
24	147,6	0	0	88,9	0,268	5,318	89,7	0,257	5,098	114	0,065	1,29	131,4	0	0	97,2	0,179	3,551
Mittelwert	146,32	0	0	87,53	0,29	5,744	105,92	0,125	2,48	107,77	0,11	2,176	127,87	0	0	96,6	0,199	3,141

	Tag 9			Tag 11			Tag 14			Tag 15			Tag 16			Tag 18		
Probe	rel.mV	Ppm	µg/cm <sup>2</sup>	rel.mV	ppm	µg/cm <sup>2</sup>	rel.mV	ppm	µg/cm <sup>2</sup>	rel.mV	ppm	µg/cm <sup>2</sup>	rel.mV	ppm	µg/cm <sup>2</sup>	rel.mV	ppm	µg/cm <sup>2</sup>
13	102,5	0,136	2,698	95,2	0,198	3,982	105,2	0,118	2,341	88	0,28	5,555	103	0,133	2,639	111,4	0,079	1,567
14	102,8	0,134	2,659	108	0,098	1,944	107,6	0,101	2,3	87,6	0,283	5,615	99,7	0,157	3,115	113,3	0,069	1,369
15	103,4	0,13	2,579	110,4	0,084	1,667	105,3	0,117	2,321	94,1	0,209	4,147	102,4	0,137	2,718	115,6	0,057	1,131
16	93,2	0,218	4,325	108,6	0,095	1,885	100,2	0,154	3,055	86,6	0,298	5,912	100,3	0,153	3,036	107	0,105	2,083
17	103	0,133	2,639	111,7	0,083	1,647	103,1	0,132	2,618	93,7	0,213	4,226	106,6	0,108	2,143	113,6	0,067	1,329
18	102,8	0,134	2,659	113,8	0,066	1,309	107,8	0,1	1,984	100,7	0,149	2,956	104,1	0,124	2,46	113,9	0,066	1,309
Mittelwert	101,28	0,148	2,926	107,95	0,104	2,072	104,87	0,12	2,437	91,78	0,239	4,735	102,68	0,135	2,685	112,47	0,074	1,465
19	117,1	0,05	0,992	110,3	0,085	1,686	119,1	0,04	0,794	87,4	0,286	5,674	121,3	0,017	0,037	129,8	0	0
20	119,4	0,038	0,754	113,9	0,066	1,309	118,3	0,044	0,873	73,5	0,508	10,079	120,2	0,034	0,675	131,4	0	0
21	117,8	0,046	0,913	114,3	0,064	1,27	123,4	0	0	94,5	0,205	4,067	124	0	0	131,9	0	0
22	116,4	0,054	1,071	106,2	0,11	2,182	122,1	0,02	0,397	99,4	0,161	3,194	123,6	0	0	126,2	0	0
23	117,2	0,049	0,972	110,6	0,083	1,647	125,3	0	0	88,7	0,27	5,357	122,6	0	0	126,8	0	0
24	118	0,045	0,893	107,1	0,104	2,063	126,2	0	0	95,1	0,199	3,948	120,9	0,0031	0,615	129,2	0	0
Mittelwert	117,65	0,047	0,933	110,4	0,085	1,693	122,4	0,017	0,344	89,77	0,272	5,387	122,1	0,014	0,271	129,22	0	0

	Tag 21			Tag 22			Tag 23			Tag 25			Tag 28		
Probe	rel.mV	ppm	µg/cm <sup>2</sup>	rel.mV	ppm	µg/cm <sup>2</sup>	rel.mV	ppm	µg/cm <sup>2</sup>	rel.mV	ppm	µg/cm <sup>2</sup>	rel.mV	ppm	µg/cm <sup>2</sup>
13	115,2	0,059	1,171	85,4	0,313	6,21	106,9	0,106	2,103	108,7	0,095	1,885	100,6	0,15	2,976
14	118,1	0,045	0,893	85,4	0,313	6,21	100,6	0,15	2,976	109,2	0,092	1,825	105,5	0,116	2,301
15	108,8	0,094	1,865	89,9	0,256	5,079	102,1	0,139	2,758	113,3	0,069	1,369	101,4	0,144	2,857
16	106,5	0,108	2,143	80,9	0,378	7,5	107,4	0,102	2,024	109,6	0,089	1,766	100,9	0,148	2,936
17	109,4	0,091	1,805	86,5	0,298	5,912	107,1	0,104	2,063	113,1	0,07	1,389	103,8	0,126	2,5
18	108	0,098	1,944	91,9	0,233	4,623	108,1	0,098	1,944	112,8	0,071	1,409	107,3	0,103	2,044
Mittelwert	111	0,083	1,637	86,67	0,299	5,922	105,37	0,117	2,311	111,1	0,081	1,607	103,25	0,131	2,602
19	134	0	0	83,8	0,334	6,627	107,2	0,103	2,044	119,9	0,036	0,714	112,8	0,071	1,409
20	135,9	0	0	89,2	0,264	5,238	111,4	0,079	1,567	115	0,06	1,19	111,6	0,078	1,548
21	136,6	0	0	89,3	0,263	5,218	110,6	0,083	1,647	116,4	0,054	1,071	113,2	0,069	1,369
22	136,7	0	0	84,8	0,321	6,369	112,7	0,072	1,428	118,1	0,045	0,893	116,5	0,053	1,052
13	137,2	0	0	88,9	0,268	5,317	115,4	0,058	1,151	120,9	0,031	0,615	116,6	0,053	1,052
24	136,7	0	0	86,2	0,302	5,992	116,8	0,052	1,032	120	0,035	0,694	115,9	0,056	1,111
Mittelwert	136,2	0	0	87,03	0,292	5,794	112,35	0,075	1,478	118,38	0,044	0,863	114,43	0,063	1,257

Tab. 11: Einzelmesswerte Hytac®

Hytac®	Tag 0			Tag 1			Tag 2			Tag 4			Tag 7			Tag 8		
Probe	rel.mV	Ppm	µg/cm²	rel.mV	ppm	µg/cm²	rel.mV	ppm	µg/cm²	rel.mV	ppm	µg/cm²	rel.mV	ppm	µg/cm²	rel.mV	ppm	µg/cm²
25	86,6	0,298	5,912	62,1	0,8	15,872	83,1	0,345	6,844	89,6	0,259	5,138	97,6	0,175	3,472	67,7	0,64	12,698
26	97,9	0,173	3,432	63,3	0,76	15,078	88,4	0,274	5,436	87,9	0,288	5,714	94	0,21	4,166	68,9	0,609	12,083
27	105,5	0,116	1,302	64,6	0,722	14,324	90,3	0,25	4,96	88,8	0,269	5,336	98,8	0,165	3,274	67,5	0,648	12,856
28	106,6	0,108	1,142	67,7	0,64	12,698	92,6	0,224	4,444	93,8	0,212	4,206	98,6	0,167	3,313	74,2	0,495	9,821
29	108	0,098	1,944	63,4	0,758	15,038	93,2	0,218	4,326	97,9	0,173	3,432	103,9	0,126	2,5	76,6	0,448	8,888
30	108,8	0,094	1,864	68,8	0,61	12,042	94	0,21	4,166	98,4	0,169	3,352	101,4	0,144	2,857	74,5	0,489	9,702
Mittelwert	102,23	0,148	2,599	64,98	0,715	14,175	90,27	0,254	5,029	92,73	0,228	4,53	99,05	0,164	3,264	71,57	0,555	11,008
31	118,5	0,043	0,892	71,3	0,559	11,09	103,9	0,126	2,5	110,4	0,084	1,666	115,2	0,059	1,171	73,7	0,5	9,92
32	109,3	0,091	1,806	66,2	0,68	13,492	104,4	0,123	2,44	109,9	0,088	1,746	114,8	0,061	1,21	65,8	0,69	13,69
33	122,3	0,017	0,338	71,7	0,55	10,912	106,4	0,109	2,162	109,1	0,092	1,826	117,2	0,049	0,972	72,9	0,521	10,337
34	109,7	0,089	1,766	66,1	0,681	13,512	109,4	0,091	1,806	114,7	0,062	1,23	120,2	0,034	0,595	76,4	0,541	10,733
35	122,5	0	0	64,2	0,728	14,444	106,7	0,107	2,122	117,4	0,048	0,952	118,6	0,042	0,833	74,8	0,481	9,543
36	125,3	0	0	68,3	0,623	12,538	109	0,093	1,846	111,4	0,079	1,568	118,1	0,045	0,893	70,6	0,576	11,428
Mittelwert	117,93	0,04	0,8	67,97	0,637	12,665	106,63	0,108	2,146	112,15	0,076	1,498	117,35	0,048	0,946	72,37	0,552	10,942

	Tag 9			Tag 11			Tag 14			Tag 15			Tag 16			Tag 18		
Probe	rel.mV	Ppm	µg/cm <sup>2</sup>	rel.mV	ppm	µg/cm <sup>2</sup>	rel.mV	ppm	µg/cm <sup>2</sup>	rel.mV	ppm	µg/cm <sup>2</sup>	rel.mV	ppm	µg/cm <sup>2</sup>	rel.mV	ppm	µg/cm <sup>2</sup>
25	81,8	0,365	7,242	92,2	0,23	4,563	93,8	0,212	4,206	60	0,865	17,162	91,4	0,238	4,722	94,2	0,208	4,127
26	83,6	0,338	6,706	90,4	0,249	4,94	93,9	0,211	4,186	58,3	0,935	18,55	88,3	0,276	5,476	94,3	0,207	4,107
27	84,9	0,32	6,349	89,9	0,256	5,079	96,8	0,183	3,631	60,4	0,852	16,904	90,5	0,247	4,901	93,3	0,217	4,305
28	90	0,255	5,059	91,7	0,235	4,662	97,4	0,177	3,512	59	0,9	17,856	91,6	0,236	4,682	96,3	0,187	3,71
29	86,4	0,299	5,932	92,4	0,227	4,504	96	0,19	3,77	60,7	0,842	16,705	90,4	0,249	4,94	95,7	0,193	3,829
30	84,7	0,322	6,388	92,7	0,223	4,424	99,1	0,163	3,234	58,6	0,925	18,352	93	0,22	4,365	94,9	0,201	3,988
Mittelwert	85,23	0,317	6,279	91,55	0,287	4,695	96,17	0,189	3,757	59,5	0,887	17,588	90,87	0,244	4,848	94,78	0,202	4,011
31	98,9	0,164	3,254	107,4	0,102	2,024	115,5	0,058	1,151	54,7	1,06	21,03	97,5	0,176	3,492	115,3	0,059	1,171
32	100,4	0,152	3,016	105,5	0,116	2,301	117	0,05	0,992	56,9	0,98	19,443	97,2	0,179	3,551	114,1	0,065	1,29
33	103,8	0,126	2,5	110,8	0,082	1,627	121,4	0,027	0,536	53,6	1,13	22,419	96,6	0,184	3,651	118,2	0,044	0,873
34	105,2	0,118	2,341	113,6	0,067	1,329	116,7	0,052	1,032	55,3	1,04	20,634	100,4	0,152	3,016	116,7	0,052	1,032
35	102,6	0,135	2,678	111	0,081	1,607	116,2	0,055	1,091	56,6	0,99	19,8	99,5	0,16	3,174	119,3	0,038	0,754
36	107,4	0,102	2,024	114,9	0,061	1,21	110,4	0,084	1,667	57,5	0,96	19,046	98,1	0,171	3,393	118	0,045	0,893
Mittelwert	103,05	0,133	2,636	110,53	0,085	1,683	116,2	0,054	1,078	55,77	1,028	20,395	98,22	0,17	3,38	116,93	0,051	1,002

	Tag 21			Tag 22			Tag 23			Tag 25			Tag 28		
Probe	rel.mV	Ppm	µg/cm <sup>2</sup>	rel.mV	ppm	µg/cm <sup>2</sup>	rel.mV	ppm	µg/cm <sup>2</sup>	rel.mV	ppm	µg/cm <sup>2</sup>	rel.mV	ppm	µg/cm <sup>2</sup>
25	94,7	0,203	4,028	56	1,02	20,237	86,9	0,292	5,793	93,7	0,213	4,226	106,3	0,11	2,182
26	95,2	0,198	3,928	51,3	1,23	24,403	88,7	0,27	5,357	96,6	0,184	3,651	105	0,119	2,361
27	94,1	0,209	4,147	49,6	1,32	26,189	85,3	0,314	6,23	96,9	0,182	3,611	102,5	0,136	2,698
28	100,8	0,148	2,936	54,6	1,07	21,229	91,4	0,238	4,722	96,1	0,189	3,75	107,6	0,101	2,004
29	94,9	0,201	3,988	56,8	0,989	19,622	92,5	0,225	4,464	95,9	0,191	3,789	105,4	0,117	2,321
30	99,6	0,159	3,155	57,7	0,954	18,927	94,2	0,208	4,127	97,2	0,179	3,551	106,7	0,107	2,123
Mittelwert	96,55	0,186	3,697	54,3	1,097	21,768	89,83	0,258	5,116	96,06	0,19	3,763	105,58	0,115	2,282
31	117,8	0,046	0,913	48,9	1,35	26,784	102,7	0,134	2,659	107,1	0,105	2,083	109,4	0,091	1,805
32	113,6	0,067	1,329	48,3	1,38	27,379	100,1	0,146	2,897	109,5	0,09	1,786	111,5	0,079	1,567
33	115,8	0,056	1,111	50,6	1,26	24,998	102,6	0,135	2,678	108,1	0,098	1,944	110	0,087	1,726
34	118,7	0,042	0,833	51,2	1,23	24,403	99,9	0,155	3,075	106,3	0,11	2,182	115,1	0,06	1,19
35	117,8	0,046	0,913	50	1,3	25,792	100,4	0,152	3,016	106,9	0,106	2,103	111,6	0,078	1,548
36	118,2	0,044	0,873	51	1,24	24,602	102,8	0,134	2,659	107	0,105	2,083	109,7	0,089	1,766
Mittelwert	116,98	0,05	0,995	50	1,29	25,66	101,42	0,143	2,831	107,48	0,102	2,03	111,22	0,081	1,6



Tab. 12: Einzelmesswerte Ketac-Fil®

Ketac-Fil®	Tag 0			Tag 1			Tag 2			Tag 4			Tag 7			Tag 8		
Probe	rel.mV	ppm	µg/cm²	rel.mV	ppm	µg/cm²	rel.mV	ppm	µg/cm²	rel.mV	ppm	µg/cm²	rel.mV	ppm	µg/cm²	rel.mV	ppm	µg/cm²
37	75,8	0,465	9,226	41,3	1,82	36,108	59,9	0,867	17,202	68,3	0,623	12,36	72,5	0,53	10,515	40,8	1,87	37,101
38	75,8	0,465	9,226	35,6	2,29	45,434	54,7	1,06	21,03	71	0,56	11,11	68	0,636	12,618	39,2	1,98	39,283
39	71,3	0,559	11,09	35,5	2,3	45,632	49,6	1,32	26,188	65,4	0,7	13,888	69,5	0,598	11,864	36,9	2,17	43,053
40	77,6	0,432	8,57	34,8	2,37	47,02	53,8	1,11	22,022	71	0,56	11,11	68,8	0,61	12,102	39,3	1,97	39,085
41	74,4	0,49	9,722	38,8	2,01	39,878	54,5	1,08	21,428	71,7	0,55	10,912	74,6	0,487	9,662	40,4	1,89	37,498
42	67,2	0,648	12,856	35,1	2,34	46,426	47,6	1,42	28,172	76,8	0,443	8,79	76,2	0,458	9,087	35,8	2,26	44,838
Mittelwert	73,68	0,51	10,115	36,85	2,188	43,401	53,35	1,143	22,674	70,7	0,573	11,362	71,6	0,553	10,975	38,73	2,02	40,143
43	116,4	0,054	1,072	58,4	0,93	18,452	88,8	0,269	5,336	105,8	0,113	2,242	98,6	0,167	3,313	56,3	1,01	20,038
44	110,6	0,083	1,646	46,7	1,48	29,364	78,9	0,411	8,154	98,4	0,169	3,352	101,7	0,142	2,817	47,6	1,42	28,173
45	110,2	0,086	1,706	44,7	1,59	31,546	83,1	0,345	6,844	98,5	0,168	3,334	104,5	0,122	2,42	45,9	1,53	30,355
46	118,7	0,042	0,872	49,2	1,34	26,586	93,9	0,211	4,186	104,2	0,124	2,46	101,7	0,142	2,817	53,1	1,14	22,618
47	108,7	0,095	1,884	48,1	1,4	27,776	90,7	0,245	4,86	104,9	0,119	2,36	107,3	0,103	2,044	46	1,52	30,157
48	119,9	0,036	0,714	52,4	1,17	23,212	98,9	0,164	3,254	102,6	0,135	2,678	103,1	0,132	2,619	53,7	1,12	22,221
Mittelwert	114,08	0,066	1,316	49,92	1,317	26,156	89,05	0,274	5,439	102,4	0,138	2,738	102,81	0,135	2,672	50,43	1,29	25,594

	Tag 9			Tag 11			Tag 14			Tag 15			Tag 16			Tag 18		
Probe	rel.mV	Ppm	µg/cm <sup>2</sup>	rel.mV	ppm	µg/cm <sup>2</sup>	rel.mV	ppm	µg/cm <sup>2</sup>	rel.mV	ppm	µg/cm <sup>2</sup>	rel.mV	ppm	µg/cm <sup>2</sup>	rel.mV	ppm	µg/cm <sup>2</sup>
37	53,8	1,11	22,022	64,6	0,722	14,325	64,2	0,728	14,444	27,8	3,12	61,901	52,7	1,16	23,014	66,3	0,678	13,452
38	50,5	1,27	25,197	66,1	0,681	13,511	61,8	0,81	16,07	27,9	3,11	61,07	54,1	1,1	21,824	64,9	0,717	14,225
39	48,9	1,35	26,784	64,3	0,735	14,582	65,9	0,685	13,59	28,6	3,03	60,115	48,6	1,36	26,982	62,4	0,79	15,674
40	49,8	1,3	25,792	69,1	0,607	12,043	60,4	0,852	16,904	28,9	2,98	59,123	55,5	1,03	20,435	61,2	0,825	16,368
41	50,4	1,28	25,395	70,4	0,578	11,468	61,4	0,82	16,269	27,6	3,15	62,496	49,4	1,33	26,387	66,1	0,681	13,511
42	46,4	1,49	29,562	62,7	0,78	15,475	58	0,945	18,749	29,3	2,94	58,33	47,8	1,4	27,776	64,5	0,728	14,444
Mittelwert	49,97	1,3	25,792	66,2	0,684	13,488	61,95	0,806	16,004	28,35	3,055	60,611	51,35	1,23	24,403	64,23	0,737	14,612
43	83,5	0,339	6,726	97,5	0,176	3,492	97,8	0,174	3,452	34,5	2,4	47,616	82,2	0,358	7,103	96	0,19	3,77
44	75,3	0,472	9,364	93,9	0,211	4,186	98,7	0,166	3,293	31,8	2,7	53,568	75,9	0,463	9,186	91	0,242	4,801
45	73,2	0,516	10,237	98,3	0,17	3,373	96,7	0,183	3,631	29,4	2,92	57,933	74,6	0,487	9,662	91,6	0,236	4,682
46	86,8	0,293	5,813	96	0,19	3,77	100,9	0,148	2,936	35,6	2,29	45,434	81,5	0,37	7,341	95,9	0,191	3,789
47	78,2	0,423	8,392	89,3	0,263	5,218	102,3	0,137	2,718	32,3	2,61	51,782	78,3	0,422	8,372	98,9	0,164	3,254
48	79,1	0,408	8,095	92,9	0,221	4,385	102,8	0,134	2,659	29,8	2,88	57,139	76,7	0,446	8,849	96,5	0,185	3,67
Mittelwert	79,35	0,409	8,105	94,65	0,205	4,071	99,87	0,157	3,115	32,23	2,63	52,245	78,2	0,424	8,419	94,98	0,201	3,994

	Tag 21			Tag 22			Tag 23			Tag 25			Tag 28		
Probe	rel.mV	ppm	µg/cm <sup>2</sup>	rel.mV	ppm	µg/cm <sup>2</sup>	rel.mV	ppm	µg/cm <sup>2</sup>	rel.mV	ppm	µg/cm <sup>2</sup>	rel.mV	ppm	µg/cm <sup>2</sup>
37	62,1	0,8	15,872	33,2	2,51	49,798	52,6	1,17	23,213	62,4	0,79	15,674	66,6	0,665	13,194
38	61,3	0,822	16,309	29,8	2,88	57,139	53,7	1,12	22,221	64,5	0,728	14,444	64,1	0,74	14,682
39	62,3	0,793	15,0733	33,5	2,49	49,402	59,2	0,891	17,677	59	0,9	17,856	59,6	0,872	17,301
40	65	0,712	14,126	30,1	2,85	56,544	54	1,1	21,824	65,2	0,706	14,007	64,7	0,72	14,285
41	63,4	0,758	15,039	32	2,63	52,179	53,1	1,15	22,816	68,9	0,609	12,083	67,9	0,638	12,658
42	62,7	0,78	15,475	29	2,99	59,321	51,7	1,21	24,006	59,4	0,885	17,558	61,2	0,825	16,368
Mittelwert	62,8	0,778	15,426	31,27	2,725	54,064	54,05	1,11	21,96	63,23	0,77	15,27	64,02	0,743	14,748
43	105,2	0,118	2,341	40,4	1,89	37,498	84,4	0,328	6,508	99,6	0,159	3,155	102,6	0,135	2,678
44	100,5	0,151	2,996	34,8	2,37	54,163	78,8	0,41	8,134	96,7	0,183	3,631	100	0,155	3,075
45	101,8	0,142	2,817	32,4	2,6	51,584	75,6	0,469	9,305	95,6	0,194	3,849	99,7	0,157	0,115
46	103,2	0,131	2,599	35,1	2,34	46,426	84,1	0,331	6,567	101,8	0,142	2,817	104,8	0,12	2,381
47	108,1	0,098	1,944	38,1	2,08	41,267	85,1	0,318	6,309	99,8	0,156	3,095	102,2	0,138	2,738
48	107,9	0,099	1,964	37,7	2,11	41,862	82,2	0,358	7,103	101,9	0,141	2,797	104	0,125	2,48
Mittelwert	104,45	0,123	2,444	36,42	2,23	45,467	81,7	0,369	7,321	99,23	0,163	3,224	102,22	0,138	2,745

## **PUBLIKATIONEN**

### **Mit Bezug auf die Dissertation veröffentlichte Vorträge und Publikationen**

1. Knop, B., Leisentritt, V., Schiffner, U.: Zur Fluoridabgabe von Füllungsmaterialien nach wiederholter Applikation eines Fluoridgelees. Gemeinsame Jahrestagung der Gesellschaft für Kinderzahnheilkunde und Primärprophylaxe in der DGZMK und der Deutschen Gesellschaft für Zahnerhaltung DGZ. Greifswald, 22.09.2000  
*Dieser Beitrag wurde mit dem Preis für die beste Vortragspräsentation der DGZ ausgezeichnet*
2. Knop, B., Leisentritt, V., Schiffner, U.: Zur Fluoridabgabe von Kompositen nach wiederholter Applikation eines Fluoridgelees. Oralprophylaxe 25, 116-119 (2003)

## **DANKSAGUNG**

An dieser Stelle möchte ich mich bei allen bedanken, die mich bei der Entstehung dieser Arbeit unterstützt haben.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Professor Dr. U. Schiffner für die Überlassung des Themas und seine mir jederzeit gewährte hilfreiche und geduldige Unterstützung bei allen anstehenden Fragen und der Versuchsdurchführung.

Mein Dank gilt auch Frau G. Schwope für die stets freundliche Betreuung bei der Durchführung der Versuche im biochemischen Labor der Abteilung für Zahnerhaltungskunde und Präventive Zahnheilkunde der Universität Hamburg.

Zu guter Letzt bedanke ich mich bei meinem Freund Thies von Appen, der während dieser Arbeit alle Facetten meiner Launen mit viel Geduld ertragen hat.

## LEBENS LAUF

Vor- und Nachname: Vera Leisentritt  
Geburtsdatum: 28. Oktober 1971  
Geburtsort: Bockum-Hövel, jetzt Hamm

### Ausbildung

1978 – 1982	Uhland – Grundschule	Werne a.d. Lippe
1982 – 1985	Anne – Frank – Gymnasium	Werne a.d. Lippe
1985 – 1988	Konrad – Adenauer – Realschule	Werne a.d. Lippe
1988 – 1991	Gymnasium St. Christophorus	Werne a.d. Lippe
	Abschluss: Allgemeine Hochschulreife	
1991 – 1992	Lehre zur Vergolderin	Werne a.d. Lippe
1992 – 1999	Studium der Zahnmedizin	Hamburg
WS 1993	Naturwissenschaftliche Vorprüfung	
SS 1997	Zahnärztliche Vorprüfung	
Dezember 1999	Approbation als Zahnärztin	
2000 - 2002	Zahnärztin in der Zahnarztpraxis Dr. Will Fahrenbach	Bergkamen
Oktober 2002	Niederlassung in eigener Praxis	Hamburg

## **EIDESSTATTLICHE VERSICHERUNG**

Ich versichere ausdrücklich, dass ich die Arbeit selbständig und ohne fremde Hilfe verfasst, andere als die von mir angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und die aus den benutzten Werken wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen einzeln nach Ausgabe (Auflage und Jahr des Erscheinens), Band und Seite des benutzten Werkes kenntlich gemacht habe.

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

Hamburg, den 24. Januar 2005

Vera Leisentritt