

Aus der Abteilung für Zahnerhaltungskunde/Präventive Zahnheilkunde  
(Kommissarischer Direktor: Prof. Dr. Ulrich Schiffner)  
der Klinik und Poliklinik für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde  
Universitätsklinikum Hamburg-Eppendorf

**Die Fluoridabgabe aus zwei fluoridhaltigen Kompositen und einem  
Kompomer im Vergleich zur Fluoridfreisetzung aus einem  
Glasionomerezement**

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

vorgelegt von  
Uta von Bröckel  
aus Bremerhaven

Hamburg 2001

Angenommen von dem Fachbereich Medizin  
der Universität Hamburg am: 29. Mai 2001

Gedruckt mit der Genehmigung des Fachbereichs  
Medizin der Universität Hamburg

Dekan: Prof. Dr. H.-P. Leichtweiß

Referent: Prof. Dr. U. Schiffner

Korreferent: -----

# Gliederung

	Seite:	
<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	1
<b>2</b>	<b>Literaturübersicht</b>	5
2.1	Ätiologie von Karies und Sekundärkaries	5
2.2	Fluorid	8
2.2.1	Eigenschaften	8
2.2.2	Wirkungsweise von Fluorid im Zahnschmelz	9
2.3	Fluoridfreisetzende Füllungsmaterialien und ihr Einfluß auf Karies und Sekundärkaries	11
2.3.1	Glasionomerezemente	11
2.3.2	Feinpartikel-Hybrid-Komposite	12
2.3.3	Kompomere	13
2.3.4	Einfluß von Füllungsmaterialien auf Karies/Sekundärkaries	13
2.3.5	Aufnahme von Fluorid durch Füllungsmaterialien	17
<b>3</b>	<b>Material und Methodik</b>	18
3.1	Material	18
3.1.1	Prüfkörper	18
3.1.2	Lösungen	21
3.2	Methodik	22
3.2.1	Lagerung und Fluoridierung der Proben	22
3.2.2	Bestimmung der Fluoridfreisetzung	23
3.3	Statistische Auswertung	27
<b>4</b>	<b>Ergebnisse</b>	28
<b>5</b>	<b>Diskussion</b>	34
<b>6</b>	<b>Zusammenfassung</b>	43
<b>7</b>	<b>Literaturverzeichnis</b>	45
	<b>Anhang</b>	53
	<b>Danksagung</b>	62
	<b>Lebenslauf</b>	63

## 1. EINLEITUNG

Die Verbreitung der Karies bei Kindern und Jugendlichen hat sich in den industrialisierten Ländern in den letzten Jahrzehnten stark verändert. Auch in der Bundesrepublik Deutschland konnte ein deutlicher Kariesrückgang dokumentiert werden (*Schiffner und Reich 1999*). In regionalen Studien können statistische Vergleiche zum Kariesrückgang rückwirkend bis in die 70er Jahre durchgeführt werden (*Borutta et al. 1991, Gülzow und Farshi 2000*). *Borutta et al. (1991)* weisen darauf hin, daß die niedrigere Kariesverbreitung stets in Verbindung mit der Verfügbarkeit von Fluoriden einher geht. Neben der optimalen Fluoridzufuhr tragen aber auch die weiteren Eckpunkte der Kariesprävention, nämlich die Reduktion süßer Zwischenmahlzeiten und die regelmäßige Durchführung adäquater Mundhygienemaßnahmen, zum Rückgang des Kariesbefalls bei (*Marthaler et al. 1996*).

Es gilt heute jedoch als unumstritten, daß der Hauptgrund für den massiven Kariesrückgang die tägliche Fluoridanwendung lokal an der Zahnoberfläche ist (*Hotz 1996*). Unter den verschiedenen Möglichkeiten der lokalen Fluoridierung kommt der Anwendung fluoridhaltiger Zahnpasten herausragende Bedeutung zu. Der weitverbreitete Gebrauch fluoridhaltiger Zahnpasten gilt als Hauptgrund für den in den Industrieländern beobachteten Kariesrückgang (*Marthaler et al. 1996*). Ergänzt wird die lokale Fluoridierung mit Zahnpasten durch die Anwendung von fluoridhaltigen Spüllösungen oder Gelees, welche insbesondere auch von Personen mit erhöhtem Kariesrisiko angewendet werden sollen. *Gülzow (1995)* faßt zusammen, daß durch die regelmäßige Verwendung von fluoridhaltigen Präparaten eine Kariesreduktion von bis zu 60% erreicht werden kann. Diese Reduktion wird vor allem an den Glattflächen der Zähne erkennbar. An weniger gut zugänglichen Flächen, wie den okklusalen Fissurensystemen, ist der Effekt regelmäßiger lokaler Fluoridierung weniger ausgeprägt, so daß hier die Fissurenversiegelung zum Verschluß der kariesgefährdeten Areale durchgeführt wird (*Lutz et al. 1990*).

Eine ähnliche Problematik wie in den schwer zugänglichen Fissurensystemen stellt sich, wenn neben Zahnfüllungen Randspalten entstehen. Randspalten können durch mechanische Mundhygienemaßnahmen nicht gereinigt werden. Durch die Impaktion von Nahrungsresten und mikrobielle Besiedlung besteht jedoch ein hohes Kariesrisiko, welches in vielen Fällen zur Sekundärkaries führt. Sekundärkaries wird als neu entstandene kariöse Läsion der Ränder bestehender Restaurationen definiert (*Hellwig et al. 1995*).

Sekundärkaries ist eine der wichtigsten Ursachen für die Erneuerung von Zahnfüllungen (*Mjör 1981*). Daher werden vielfältige Anstrengungen unternommen, um das Auftreten von Sekundärkaries und somit die Füllungs-Erneuerungs-Rate zu reduzieren.

Neben Verfahren zum Legen primär randspaltfreier Füllungen kommt dabei Überlegungen eine besondere Rolle zu, den Fluoridgehalt am Füllungsrand und ggf. am Randspalt zu erhöhen. Auf diese Weise soll, auch wenn Randspalten auftreten, die Entstehung der Sekundärkaries gehemmt werden. Hierzu bedarf es möglichst langanhaltender kontinuierlicher Fluoridabgabe. Eine derartige Fluoridfreisetzung in einen Randspaltbereich kann aus dem Füllungsmaterial erfolgen.

Glasionomerzemente stellen ein seit mehr als 25 Jahren etabliertes Füllungsmaterial dar, welches Fluorid abgibt (*Atkinson und Pearson 1985, Walls 1986*). Die Fluoridfreisetzung aus Glasionomerzementen und die damit einhergehende Sekundärkarieshemmung wurden durch viele Studien belegt (*Strübig 1988, Forss und Seppä 1990, Friedl et al. 1992, Benelli et al. 1993, Forsten 1994, Twetman et al. 1997*). Darüber hinaus üben Glasionomerzemente durch ihre Fluoridabgabe eine Hemmwirkung auf das Wachstum von *Streptococcus mutans* aus (*Friedl et al. 1992, 1997*). Diese Wirkungen werden dadurch verstärkt, daß Glasionomerzemente imstande sind, nach lokaler Applikation von Fluorid dieses aufzunehmen („Refill Effect“) und erneut an die Umgebung abzugeben (*Hatibovic-Kofman und Koch 1991, Creanor et al. 1994, Donly und Nelson 1997*).

Es wird diskutiert, ob hinter diesem Effekt, welcher auch als „Wiederaufladung“ oder „Recharging“ bezeichnet wird, eine tatsächliche chemische Bindung des Fluorids an Glasionomierzement-Strukturen oder lediglich eine mechanische Einlagerung in die poröse Zementoberfläche steht. Ungeachtet dieser Diskussion des Aufnahme-mechanismus ist die Wiederaufnahme von Fluorid unstrittig.

Es treten jedoch bei diesem Füllungs-material auch Nachteile auf. Diese sind vor allem die unbefriedigenden physikalischen Werte wie mangelnde Bruch-, Duck- und Kantenfestigkeit. Hieraus resultieren häufig hohe Abrasionsraten, marginale Diskontinuität oder Füllungsfrakturen (*Krämer 1997*). Aufgrund der werkstofflichen Schwächen muß bei der Präparation auf eine Retensionsform mit ausreichender Materialstärke geachtet werden. In zu tiefen Kavitäten jedoch können Glasionomerezemente Pulpairritationen hervorrufen (*Barnes et al. 1995*).

Aufgrund dieser negativen Eigenschaften und vor dem Hintergrund der emotionsgeladenen Diskussion um Amalgam wird nach zahnfarbenen Alternativen zu Amalgam und Glasionomerezementen gesucht. Diese Alternativen sollten jedoch möglichst die positiven Eigenschaften von metallischen Füllungen, nämlich deren mechanische Eigenschaften, und von Glasionomerezementen, nämlich deren Fluoridfreisetzung und Sekundärkarieshemmung, aufweisen.

Als Ergebnis dieser Suche wurden Komposite präsentiert, welche insbesondere mit den neuesten Entwicklungen vor allem bezüglich der mechanischen Eigenschaften den metallischen Füllungen nahekommen. Die guten physikalischen Eigenschaften haben ein deutlich verbessertes Verschleißverhalten zur Folge (*Hellwig et al. 1995*).

Aufgrund des zahnfarbenen Aussehens des Materials besitzen Kompositfüllungen eine hohe Akzeptanz. Ihr größter Nachteil ist jedoch die während freier Polymerisation auftretende Schrumpfung von ca. 3% (*Soltisz 1998*). Dadurch besteht, auch wenn mittels der Schmelz-Ätz-Technik ein dichter und stabiler Randschluß erzielt werden kann, das Risiko der Randspaltbildung.

Da die meisten Komposite kein Fluorid abgeben, ist in diesem Falle einer Randspaltbildung kein den Glasionomerzementen vergleichbarer Mechanismus vorhanden, um die Entstehung von Sekundärkaries zu hemmen. Neue Komposite enthalten daher fluoridhaltige Füllstoffe. Durch Fluoridfreisetzung aus diesen Kompositen sollen karieshemmende Effekte am Füllungsrand erzielt werden.

Ein weiterer Ansatz zur Bereitstellung fluoridfreisetzender Komposite kann in der Entwicklung von Kompomeren gesehen werden. Kompomere sind Komposite, deren Monomere sowohl polymerisationsfähige Doppelbindungen als auch die bei der Härtungsreaktion von Glasionomerzementen reagierende Carboxylgruppe enthalten. Dadurch können Kompomere, welche auch als Polyalkensäure-modifizierte Komposite bezeichnet werden, sowohl im Sinne der Komposit-Härtung radikalisch aushärten als auch bei Wasserzutritt im Sinne der Glasionomerzement-Härtung reagieren. Letztere Reaktion findet mit Glas-Füllungskörpern statt. Diese enthalten Fluorid. Daher können Kompomere Fluorid abgeben. Allerdings ist die Fluoridabgabe aus Kompomeren geringer als diejenige aus Glasionomerzementen (*Glockmann et al. 1997, Millar et al. 1998, Shaw et al. 1998, Grützner und Pflug 1999*).

Erst ansatzweise ist bekannt, inwieweit Kompomere bei regelmäßiger Fluoridapplikation Fluorid aufnehmen können, um es anschließend wieder an ihre Umgebung abzugeben. *Knop und Schiffner (1997)* stellten für zwei Kompomere fest, daß diese aus einer Fluoridlösung Fluorid aufnehmen und anschließend vermehrt Fluorid an ihre Umgebung abgeben können. Nicht bekannt ist, inwieweit neue fluoridhaltige Komposite Fluorid freisetzen können, und ob auch fluoridfreisetzende Komposite „wiederaufladbar“ sind.

In der vorliegenden In-vitro-Studie soll daher untersucht werden, inwieweit zwei der neuen fluoridfreisetzenden Komposite und ein in dieser Hinsicht noch nicht untersuchtes neues Kompomer im Vergleich zu einem Glasionomerzement Fluorid abgeben. Zudem soll untersucht werden, ob fluoridhaltige Komposite und Kompomere nach Kontakt zu einer fluoridhaltigen Lösung Fluorid wiederaufnehmen, um anschließend zusätzlich wieder Fluorid an ihre Umgebung abgeben zu können.

## **2. LITERATURÜBERSICHT**

### **2.1 Ätiologie von Karies und Sekundärkaries**

Zahnschmelz besteht im wesentlichen aus Hydroxylapatit, näherungsweise beschrieben durch die Formel  $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ . Schmelz stellt die härteste körpereigene Substanz dar. Dennoch ist Zahnschmelz wegen seiner Säurelöslichkeit verletzbar.

Die häufigste Erkrankung der Zahnhartsubstanzen ist die Karies. Sie führt zu einem irreversiblen Substanzverlust. Die in ihren Grundzügen noch heute gültige Theorie zur Kariesentstehung von Miller besagt, daß Karies einen chemoparasitären Prozeß darstellt, bei dem es durch die Aufnahme und Abbau von Nahrungszuckern durch Bakterien zur Säureproduktion kommt. Wirken die entstehenden Säuren lange genug auf die Zahnhartsubstanz ein, so kommt es zur Entmineralisierung und damit zur Zerstörung der Zahnhartsubstanz (*Hellwig et al. 1995, Gülzow 1995*).

Eine Schlüsselstellung in der Kariesentstehung nimmt die Plaque ein. Plaque ist ein strukturierter, zäher Zahnbelag aus Speichelbestandteilen, bakteriellen Stoffwechselprodukten, Nahrungsresten und Bakterienzellen. Entsteht durch den Abbau von Kohlenhydraten Säure in den mikrobiellen Belägen, so kann der pH-Wert in der Plaque für längere Zeiten unter einem kritischen Wert liegen, bei dessen Unterschreiten Zahnschmelz gelöst wird. Dies ist bei einem pH-Wert von 5,5 bis 5,7 der Fall (*Hellwig et al. 1995*). Durch Remineralisation kann es hier zu einer Reparatur kommen, ist allerdings die Kontinuität der Oberfläche zerstört, so schreitet die Zerstörung der Zahnhartsubstanzen fort.



Bereits der gesunde Zahnschmelz unterliegt einem dynamischen Gleichgewicht zwischen De- und Remineralisation. Dieses Gleichgewicht wird gestört, wenn infolge niedriger pH-Werte an der Zahnoberfläche das Löslichkeitsprodukt für Hydroxylapatit lokal unterschritten wird. Es überwiegt in dieser Situation die Demineralisation.

Im Detail sind folgende Vorgänge bei der Demineralisation zu beobachten: Im Zuge der Energiegewinnung der Plaquebakterien werden Kohlenhydrate der Nahrung zu Säuren abgebaut, es kommt zum Anstieg von Protonen (Wasserstoffionen) in der Plaque und auf dem darunterliegenden Zahnschmelz. Dabei verdrängen die Protonen aus der angesäuerten Plaque Kalzium aus dem Hydroxylapatit-Kristallgitter und bilden mit OH-Ionen Wasser, auch werden dreiwertige  $\text{PO}_4^{3-}$ -Ionen in zweiwertige  $\text{HPO}_4^{2-}$ -Ionen beziehungsweise einwertige  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ -Ionen umgewandelt. Durch diese Vorgänge wird die Gitterstruktur des Schmelzes geschwächt. Es werden schließlich Kalzium- und Phosphationen aus dem Schmelz gelöst, und es kommt zur Auflösung des Schmelzes (*Rosin und Rentsch 1997*).

Diese frühen subklinischen Stadien der Kariesentstehung können rückgängig gemacht werden, wenn an der Schmelzoberfläche remineralisierende Bedingungen mit höheren pH-Werten vorliegen. Dabei kommt es zum Wiedereinbau von Kalzium- und Phosphationen, welche aus Speichel und Plaque stammen, in das Hydroxylapatit-Kristallgitter.

Bevorzugt läuft dieser Remineralisationsprozeß ab, wenn an der Zahnoberfläche Fluoridionen zur Verfügung stehen. Dabei fördert Fluorid nicht nur die Remineralisation, sondern es wird teilweise auch mit in das Kristallgitter eingebaut. Die entstehende Fluoridapatit ähnlichen Verbindungen weisen eine höhere Säureresistenz auf (*Gülzow 1995*). Ursache hierfür ist die Entstehung größerer Schmelzkristallite mit reduziertem Porenvolumen (*König 1987*).

Das früheste klinisch erkennbare Stadium der Schmelzläsion wird als Initialkaries bezeichnet. Gekennzeichnet ist dieses Stadium dadurch, daß noch keine Kavitation vorhanden ist. Die Schmelzoberfläche ist erhalten, es zeigt sich lediglich eine kreidige Verfärbung des Schmelzes. Dieses Aussehen beruht auf Lösungs- und Umbauprozessen in Schmelzschichten unterhalb der Oberfläche. Unter geeigneten Bedingungen, vorzugsweise in Gegenwart von Fluorid, können initialkariöse Lösungen remineralisieren.

Kariöse Defekte entstehen zumeist an Stellen, welche Nischen für Nahrungsreste und Bakterien darstellen. Derartige als Kariesprädispositionsstelle bezeichnete Orte sind das Fissurensystem, Approximalflächen und Zahnhalsregionen. Jedoch können auch zahnärztliche Restaurationen Schlupfwinkel und Nischen für Bakterien und Speisereste darstellen. Ursache hierfür kann u.a. mangelhafte Adaptation der Füllungsmaterialien am Kavitätenrand sein. Aber auch Spaltbildung zwischen Füllung und Zahn stellt eine Situation am Zahn dar, welche im höchsten Maße kariesgefährdet ist. Die an derartigen Füllungsabschnitten mit überstehenden Füllungsrandern oder mit Randspalten entstehende Läsion wird als Sekundärkaries bezeichnet (*Hellwig et al. 1995*). Die dabei ablaufenden Phasen der Defektentstehung entsprechen den bereits geschilderten Vorgängen an den Schmelzoberflächen.

Aus diesem Grunde wird auch Sekundärkaries durch Fluorid gehemmt. In diesem Zusammenhang hat es sich als günstig erwiesen, wenn das zur Demineralisationshemmung und zur Förderung der Remineralisation erforderliche Fluorid aus dem Füllungsmaterial zur Verfügung gestellt werden kann. Eine Vielzahl von Studien mit Glasionomerkementen, welche Fluorid freisetzen, hat die sekundärkarieshemmende Wirkung bestätigt (*Strübig 1988, Forss und Seppä 1990, Friedl et al. 1992, Benelli et al. 1993, Forsten 1994, Twetman et al. 1997*).

## **2.2 Fluorid**

### **2.2.1 Eigenschaften**

Fluor gehört zusammen mit Chlor, Brom, Jod und Astat zur Hauptgruppe der Halogene. Fluor kommt ubiquär, jedoch wegen seiner hohen Reaktivität niemals ungebunden vor, sondern hauptsächlich in Verbindung mit Mineralien, wie beispielsweise Flußspat ( $\text{CaF}_2$ ), Eisstein ( $\text{Na}_3\text{AlF}_6$ ) und Fluorapatit  $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}(\text{OH})$ .

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

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

Fluorid hat unbestritten eine große Bedeutung für die Kariesprävention. Nach *Hotz (1996)* gilt es heute als unumstritten, daß der Kariesrückgang bei Kindern und Jugendlichen auf die tägliche Fluoridanwendung zurückzuführen ist. Dabei wird der regelmäßigen lokalen Anwendung von Fluorid besondere Bedeutung zugesprochen. Im folgenden sei die Wirkungsweise lokal applizierten Fluorids dargestellt.

### **2.2.2 Wirkungsweise von Fluorid im Zahnschmelz**

Die kariesprophylaktische Wirkung der Fluoride beruht auf Effekten. Fluorid wirkt in erster Linie an den Zahnhartsubstanzen, die Effekte auf orale Bakterien scheinen bei den in der Mundhöhle üblichen Konzentrationen von geringerer Bedeutung zu sein. Am Zahnschmelz hemmt Fluorid die Demineralisation und fördert die Remineralisation (Hellwig et al. 1995, ten Cate, J.M und van Duinen 1995). Hierbei werden freie Gitterpositionen der Hydroxylionen durch Fluorid besetzt und es entsteht säureresistenteres fluoridapatitähnliches Material (Rosin und Rentsch 1997). Im Vergleich zu gesundem Zahnschmelz ist die Fluoridaufnahme im demineralisierten Schmelz höher, sie trägt nachweislich zur Erhöhung der Widerstandsfähigkeit der Zahnhartsubstanz bei (Schmidt 1974).

Schon bei der Einwirkung niedriger Fluoridkonzentrationen kommt es zum Einbau von Fluorid in das Kristallgitter des Apatits. Es entsteht Fluoridapatit oder Mischformen zwischen Hydroxylapatit und Fluorapatit. Bei höheren Fluoridkonzentrationen wurde gezeigt, daß es insbesondere beim Einwirken saurer Fluoridlösung zur Lösung der äußeren Schmelzschicht kommt. Die dabei freigesetzten Kalziumionen bilden mit dem Fluorid einen Niederschlag aus Kalziumfluorid, die sogenannte Deckschicht. Dieser Niederschlag lagert sich dem Zahnschmelz auf.

Wird diese Kalziumfluoridschicht von einer metabolisch aktiven Plaque bedeckt, kommt es unter der Einwirkung von gebildeten Säuren zur Auflösung dieser Schicht. Die freigesetzten Fluoridionen können am Schmelz karieshemmend wirksam werden. Somit steht aus der Deckschicht gerade dann Fluorid zur Verfügung, wenn es wegen des bakteriellen Säureangriffs auf den Zahn erforderlich ist. Allerdings wird die Deckschicht vom Speichel innerhalb weniger Tage bis zu 90% wieder aufgelöst.

Fluoride können außerdem in die Adhärenz, das Wachstum und den Metabolismus von Plaquebakterien eingreifen. Fluorid kann in die Bakterienzelle aufgenommen werden und dort Stoffwechselforgänge hemmen. Insbesondere wird das Enzym Enolase im Abbauweg der Kohlenhydrate gehemmt. Die Enolase ist ein magnesiumabhängiges Enzym. Fluorid geht mit Magnesium eine Verbindung ein. Dadurch wird im Abbauvorgang der anaeroben Glycolyse die erforderliche Bereitstellung von Phosphoenolpyruvat gehemmt. Einige Bakterienstämme benötigen Phosphoenolpyruvat zum Einschleusen von Glucose in die Zelle. Ohne Phosphoenolpyruvat ist die Laktatbildung gehemmt. Fluorid reduziert außerdem die Bildung von Lipoteichonsäure und kann so hemmend in die Bakterienadhärenz an Zahnoberflächen eingreifen. Die intrazelluläre Polysaccharidsynthese wird durch Fluorid gehemmt, in dem das zum Aufbau notwendige Glucose-6-P nicht oder nur vermindert gebildet wird (*Gülzow 1995, Hellwig et al. 1995*).

## **2.3 Fluoridfreisetzende Füllungsmaterialien und ihr Einfluß auf Karies und Sekundärkaries**

### **2.3.1 Glasionomerzemente**

Glasionomerzemente sind Verbindungen aus Polyalkensäuren (organische Komponente) und Aluminium-Silikatgläsern (anorganische Komponente). Diese setzen sich aus Siliziumdioxid ( $\text{SiO}_2$ ), Korund ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) und Flußspat ( $\text{CaF}_2$ ) zusammen. Somit ist die anorganische Komponente für die Fluoridfreisetzung verantwortlich. In einer Säure-Base-Reaktion der beiden Komponenten bindet das Material ab. Der abgebundene Zement besteht aus Glaspartikeln mit einer umgebenden Schicht aus Silikatgel in einer anionischen Polyacrylatmatrix (*Eichner 1988*).

Glasionomerzemente sind nicht verschleißfest genug, um mit modernen Amalgamen und Feinhybrid-Kompositen zu konkurrieren. Hinzu kommt, daß ihre initiale marginale Adaptation nicht belastungsresistent genug ist (*Glockmann et al. 1997*). Ungeeignet sind sie wegen der unzureichenden mechanischen Parameter für den Einsatz im kaubelasteten Seitenzahnbereich, sowie wegen der ungenügenden ästhetischen Eigenschaften im sichtbaren Frontzahnbereich. Glasionomerzemente zeichnen sich jedoch durch eine lang andauernde Abgabe von Fluorid aus (*Friedl et al. 1992, Forsten 1994, Forss und Seppä 1990*). Zudem sind sie imstande nach einer lokalen Applikation von Fluorid dieses aufzunehmen und erneut an die Umgebung abzugeben (*Creanor et al. 1994*). Die Gefahr einer Sekundärkaries wird hierdurch verringert, zumal bakterienhemmende Einflüsse beschrieben wurden. (*Forss et Seppä 1990, Friedl et al. 1992, Forsten 1994, Donly et Nelson 1997*).

*Friedl et al. (1992, 1997)* zeigten auf, daß Glasionomerzemente durch ihre Fluoridabgabe eine Hemmwirkung auf das Wachstum von *Streptococcus mutans* ausüben. Es ist dabei eine Korrelation zwischen der Fluoridfreisetzung und der Wachstumsphase von *Streptococcus mutans* zu verzeichnen.

### **2.3.2 Feinpartikel-Hybrid-Komposite**

Komposite bestehen zum einen aus der organischen Phase, der Kunststoffmatrix, und zum anderen aus der anorganischen Phase, dem Füllstoffanteil. Der Verbund zum Kunststoff wird durch Haftvermittler erreicht, hierbei handelt es sich um Silane (organische Siliziumverbindung), welche die Eigenschaft haben mit dem organischen und dem anorganischen Anteil eine Verbindung einzugehen.

Durch den Zusatz von Füllkörpern soll die Druck- und Zugfestigkeit und die Verschleißfestigkeit des Materials verbessert werden. Gleichzeitig sollen die Polymerisationsschrumpfung, der lineare thermische Expansionskoeffizient und die Wasseraufnahme verringert werden (*Hellwig et al. 1995*). Als Füllstoff werden Gläser, Quarze und Silikate verwendet, wobei die Fluoridanteile in unterschiedlicher Weise in den Füllkörpern wie Apatit und Gläsern enthalten sind.

Degufill® mineral und Solitaire® sind zwei neu formulierte Feinpartikel-Hybrid-Komposite, welche nach Herstellerangaben Fluorid freisetzen können. In der Erwartung sekundärkarieshemmender Effekte wurde dem Feinpartikel-Hybrid-Komposit Degufill® mineral ein fluoridhaltiges Apatit als Füllstoff beigefügt (*Rosin und Rentsch 1997*). Degufill® mineral gibt insbesondere bei sinkendem pH-Wert Fluoridionen in das Mundmilieu ab. Zusätzlich werde die Sekundärkarieshemmung dadurch gefördert, daß neben Fluorid auch Kalzium und Phosphat durch das Komposit bereitgestellt werden könnten (*Staudt-Hockmann 1997*).

Auch Solitaire® ist ein lighthärtendes, fluoridabgebendes Feinpartikel-Hybrid-Komposit. Es enthält neuartige poröse Füllkörper, welche neben höheren Festigkeitswerten auch die Bereitstellung von Fluoriden ermöglichen (*Rzanny und Welker 1998*).

### **2.3.3 Kompomere**

Beim Kompomer handelt es sich um eine GIZ/Komposit-Kombination. Die Polyalkensäure wird hier durch ein saures Monomer ersetzt. Kompomere werde auch als Polyalkensäure-modifiziertes Komposit bezeichnet. Zur Härtung von Kompomeren tragen zwei Mechanismen bei. Die Härtungsreaktion läuft anfänglich wie beim Komposit ab. Durch die Lichtpolymerisation verbinden sich die Monomere zu einem dreidimensionalen Netzwerk, in das die Glas-Füllkörper eingebunden sind.

Der zweite Härtungsvorgang ist eine Säure-Base-Reaktion, die durch Wasseraufnahme eingeleitet wird. Das eindiffundierte Wasser wirkt als Lösungsmittel für die Carbonsäuregruppen des Polymernetzwerkes, die mit den eingebetteten fluoridhaltigen Glaspartikeln reagieren. Diesen Härtungs- und geringfügigen Lösungsvorgängen unterliegt auch das Kompomer Hytac®. Aus seinen Füllkörpern kann nach Angaben des Herstellers eine Freisetzung von Fluoriden erfolgen.

### **2.3.4 Einfluß von Füllungsmaterialien auf Karies und Sekundärkaries**

Die kontinuierliche Bereitstellung von Fluorid in niedriger Konzentration wird als wichtiger Mechanismus zur Karies- und Sekundärkarieshemmung angesehen. Daher ist die Verfügbarkeit von Fluorid aus Glasionomernzementen, wie auch aus den neuen fluoridfreisetzenden Kompositen und Kompomeren, mit der Erwartung der Sekundärkarieshemmung verbunden.

Es stellt sich jedoch die Frage ob die Menge der freigesetzten Fluoridionen ausreichend ist, um Karies bzw. Sekundärkaries hemmen zu können. Darüber gibt es konträre Meinungen, welche nachfolgend erläutert werden sollen.



*Strübig (1988)* wie auch *Forss und Seppä (1990)* wiesen die Aufnahme von Fluorid aus Glasionomerzementen im Zahnschmelz nach und folgerten, die Zemente könnten Sekundärkaries reduzieren. *Meißner (1994)* stellt klinisch fest, daß neben Glasionomerzementen nur selten eine Sekundärkaries zu beobachten sei. Auch *Hildebrand et al. (1995)* sehen in der Fluoridabgabe einen Grund für die klinische Erfolgsquote der Glasionomerzemente.

*Glasspoole und Erickson (1993)* beurteilen bei Glasionomerzementen die Fluoridfreisetzung als kariesprotektiv und meinen, daß durch diese kariesprotektive Fluoridfreisetzung sogar Randspalten zumindest teilweise kompensiert werden könnten. Auch für Dentin konnte die Aufnahme von Fluorid aus Glasionomerzementen gezeigt werden (*Mukai et al. 1993*). Besondere Effekte wie eine partielle Erhärtung kariös erweichten Dentins und eine Reduktion kariogener Bakterien im Dentin konnten gezeigt werden (*Weerkeijm et al. 1993*). In ähnlicher Weise können initialkariöse Schmelzläsionen durch die Fluoridierung aus benachbarten Glasionomerzementfüllungen remineralisieren (*Hatibovic-Kofman et al. 1997*).

Ebenso konnte *Seppä (1994)* zeigen, daß durch die Fluoridfreisetzung von Glasionomerzementen die Demineralisation von Zahnschmelz gehemmt wird. Allerdings gilt dies nur für frische Glasionomerzementproben. Bei 4 Wochen alten Glasionomerzementfüllungen verschwindet dieser Effekt. Erst mit Hilfe einer lokalen Fluoridapplikation konnte wieder eine signifikante Reduktion der Demineralisation durch eine erneute Fluoridfreisetzung verzeichnet werden.

Die gleiche Arbeitsgruppe stellte 2 bis 4 Wochen nach Applikation von Glasionomerzementfüllungen fest, daß die Fluoridkonzentration in der den Füllungen aufgelagerten Plaque nicht höher war als die einer Kontrollgruppe (*Seppä et al. 1992*). Andere Studien zeigten ähnliche Ergebnisse. *Dijken et al (1997)* stellten fest, daß bei älteren Glasionomerzementfüllungen die Fluoridkonzentration nicht ausreichend war, um die mit der Karies assoziierten Bakterien wie *Streptococcus mutans* und *Lactobazillen* zu beeinflussen.

So ist die Frage der Effektivität und Sekundärkarieshemmung von Glasionomerzementfüllungen nur durch klinische Langzeitstudien zu beantworten. Eine Vielzahl von Untersuchungen hat diese Fragestellung untersucht. *Randall und Wilson (1999)* haben aus 52 verfügbaren Studien 28 im experimentellen Design ähnliche Untersuchungen zusammengefaßt. In ihrer Bewertung kommen sie zu dem Ergebnis, daß bislang keine zwingenden Beobachtungen für oder gegen einen Sekundärkaries hemmenden Effekt von Glasionomerzementfüllungen vorlägen. Demnach wird in der Literatur gleichermaßen über aufgezeigte Karieshemmung neben Glasionomerzementfüllungen wie auch über fehlende Karieshemmung berichtet.

Lichthärtende Glasionomerzemente werden zu den Zementen gezählt, sie stellen jedoch Mischungen mit Kompositen dar (*Saito et al. 1999*). Deshalb ist der Glasionomerzementanteil im Vergleich zum reinen Glasionomerzement verringert. Dennoch zeigen auch lichthärtende Glasionomerzemente Fluoridfreisetzung und erhöhen den Fluoridgehalt benachbarten Zahnschmelzes (*Friedl et al. 1997*).

Kompomere, auch als Polyalkensäure-modifizierte Komposite bezeichnet, stellen eine weitere Materialgruppe dar, welche sowohl Elemente der Komposite als auch der Glasionomerzemente enthält (*Saito et al. 1999*). Sie zählen zu Füllungswerkstoffen, und ihre Abbindung folgt zunächst ausschließlich der Komposit-Härtungsreaktion. Dennoch wird angesichts des Glasionomerzementanteils auch bei Kompomeren über Fluoridfreisetzung berichtet, welche allerdings geringer als diejenige aus Glasionomerzementen ist (*Attin et al. 1996, Knop und Schiffner 1997, Shaw et al. 1998*). Klinische Daten zur Frage der Sekundärkarieshemmung durch Polyalkensäure-modifizierte Komposite liegen nicht vor.

Bei verschiedenen neu entwickelten Kompositen wird versucht, durch fluoridhaltige Füllkörper eine Fluoridfreisetzung aus dem ausgehärteten Material zu erzielen. Hierfür gibt es zwei besondere Gründe. Zum einen ist im Randbereich der Kavität eine Fluoridfreisetzung wünschenswert, weil dort der Schmelz bereits durch Konditionierung mit Säure lokal demineralisiert ist. Stehen jedoch Fluoridionen zur Verfügung, können freie Kristallgitterpositionen des Hydroxyapatits durch Fluorid besetzt werden, und es kann sich säureresistenterer Fluorapatit bilden. Es wird spekuliert, daß hierzu auch aus dem Komposit freigesetzte Fluoridionen in der Lage sein könnten (*Rentsch und Kühner 1997*).

Zum anderen ist das Risiko der Randspaltbildung neben Kompositfüllungen infolge dessen Polymerisationsschrumpfung besonders groß. Aus dem Füllungsmaterial direkt in einen Randspalt freigesetztes Fluorid könnte der Entstehung von Sekundärkaries entgegenwirken. Über einen derartigen Effekt spekulieren z.B. *Rentsch und Kühner (1997)* bezüglich des Hybridkomposits Degufill® mineral.

In-vitro-Daten zur Demineralisierungshemmung oder zur Förderung der Remineralisation neben Degufill® mineral oder Solitaire® liegen bislang nicht vor. In ähnlicher Weise wie der Degufill® mineral Hersteller weist der Hersteller von Solitaire® darauf hin, daß das Material hohe Anteile Fluorid enthalte und daher eine „Rekonvalesenz der kristallinen Zahnhartsubstanzstrukturen“ fördere (*Heraeus Kulzer 1998*). Experimentelle Belege hierfür werden nicht vorgelegt.

Die wissenschaftlich abgesicherten vorhandenen Mitteilungen über die Fluoridfreisetzung aus Kompositen sind widersprüchlich. So fanden *Takahashi et al. (1993)* und *Young et al. (1996)* in vitro heraus, daß fluoridhaltige Komposite (Heliosolar bzw. Tetric) Fluorid abgeben. In gleicher Weise fanden *Dijkman et al. (1993)* bei Heliosit, Helioprogress und Heliosolar freigesetztes Fluorid. *Ulukapi et al. (1996)*, *Donly und Nelson (1997)* sowie *Kaurai et al. (1997)* hingegen fanden keine signifikante Fluoridfreisetzung aus derartigen Materialien (Heliomolar, Heliosolar bzw. Pertac-Hybrid), obwohl die Abgabe gegenüber nicht-fluoridhaltigen Kontrollen z.T. erhöht war.

*Kaurai et al. (1997)* untersuchten darüber hinaus, ob Fluorid aus fluoridhaltigen Kompositen in das Dentin eingelagert wird und dessen Säureresistenz beeinflusst. Für das Hybridkomposit Pertac-Hybrid wurden derartige Auswirkungen nicht gefunden, wohl aber für zwei weitere, bei uns nicht verfügbare Komposite (Fluor Ever, Fluoro Core). *Dijkman und Arends (1992)* sowie *Dijkman et al. (1993)* konnten In-vitro bzw. In-situ mit den Kompositen Heliosit, Helioprogress und Heliosolar aufzeigen, daß durch deren Fluoridabgabe die Schmelzdemineralisation gehemmt war und an einem Randspalt signifikant weniger Sekundärkaries entstand.

### **2.3.5 Aufnahme von Fluorid durch Füllungsmaterialien**

Die Fluoridaufnahme von Glasionomerzement nach lokaler Applikation von Fluorid wird durch viele Studien belegt. So zeigten *Damen et al. (1996)* auf, daß alte Glasionomerzementfüllungen imstande sind, nachdem sie einer NaF-Lösung ausgesetzt wurden, dieses für eine kurze Periode wieder abzugeben. *Forsten (1995)* machte ähnliche Beobachtungen, nachdem Glasionomerzemente und lichterhärtende Glasionomerzemente nach einer 9-monatigen Lagerung in Wasser innerhalb einer Woche, nachdem sie einer 50 ppm Fluoridlösung ausgesetzt worden waren, signifikant mehr Fluorid abgaben, als vor der Behandlung. Auch *Creanor et al. (1994)* sowie *Takahashi et al. (1993)* beschreiben die Wiederaufnahme von Fluorid in Glasionomerzemente. *Hatibovic-Kofman und Koch (1991)* stellten in einer In-vivo-Studie fest, nachdem sie Restaurationen im Milchzahngebiß von Schulkindern legten, daß die Konzentration von Fluorid im Speichel anstieg. Dieses zeigte sich auch noch nach einem Jahr.

Die gleichen Autoren stellten In-vitro fest, daß Glasionomerzementfüllungen, welche in destilliertem Wasser gelagert und einer fluoridhaltigen Zahnpasta ausgesetzt wurden, das Fluorid aufnehmen und wieder an die Umgebung abgeben können. Die Autoren folgerten, daß die Sekundärkarieshemmung von Glasionomerzementfüllungen verstärkt werde, nachdem sie durch lokale Fluoridapplikation Fluorid aufgenommen haben und dieses wieder an ihre Umgebung abgeben. Die Autoren sprechen daher von einer Wiederaufladung.

### **3. MATERIAL und METHODIK**

#### **3.1 Material**

##### **3.1.1 Prüfkörper**

Um die Fluoridfreisetzung aus den zu überprüfenden Füllungsmaterialien nicht durch Fluoridabgabe oder -aufnahme aus dem Zahnschmelz zu überlagern, wurden die Füllungen nicht in Zähne, sondern in Teflonscheiben gelegt. Hierzu wurden 48 Teflonstreifen mit einer Länge von 10 cm und einer Breite von 8 mm verwendet. In diese Teflonstreifen wurden „Kavitäten“ von 4 mm Durchmesser und 2,5 mm Dicke gefräst, um vergleichbare Füllungsgrößen zu erhalten. Nachdem alle Ränder versäubert waren, wurden die Füllungen gemäß Herstellerangaben gelegt. Auf die Anwendung einer „Konditionierung“ wurde bei allen Teflonflächen verzichtet. Bei allen Materialien wurden die Füllungs-Oberflächen mit Sof-Lex-Discs (3M, St. Paul, USA) in abnehmender Körnung bearbeitet und poliert. Nachfolgend sind die wichtigsten Firmenangaben zu den vier verwendeten Materialien dieser In-vitro Studie aufgeführt (Tabelle 1):

*Tab. 1: Charakterisierung der unterschiedlichen Füllungsmaterialien ( Herstellerangaben)*

Material	Materialgruppe	Verwendete Charge	Füllstoffe	Füllstoff-Anteil (Gew.-%)	Mittlere Partikelgröße ( $\mu\text{m}$ )	Fluoridgehalt des Materials (Gew.-%)	Wasseraufnahme ( $\mu\text{g}/\text{mm}^3$ )	Löslichkeit ( $\mu\text{g}/\text{mm}^3$ )
Degufill® mineral	Feinpartikel-Hybrid-Komposit	300	Glaspartik. SiO <sub>2</sub> , Apatit-Modifikation	79	0,04-1,5	0,15	19,5	1,0
Hytac®	Polyalkenoat-modifiz. Komposit	29424	Ca-Al-Zn-F-Si-Glas, SiO <sub>2</sub> , Ytterbiumtrifluorid	66	5	16	32 (nach ISO 4049)	3,4 (nach ISO 4049)
Ketac-Fil®	Glasionomerzement	008/005	Sr-La-Al-F-Si-Glas	76	7,5 (Median)	10,6	-	0,05% (nach ISO 7489)
Solitaire®	Feinpartikel-Hybrid-Komposit	22	Ba-Al-B-F-Si-Glas, SiO <sub>2</sub> , SrF <sub>2</sub>	60	0,7; 8; <1	5,0	25	0,1

### Ketac-Fil®

Bei dem Vergleichsmaterial handelt es sich um das konventionelle Glasionomerzement Ketac-Fil® Aplicap® (Espe, Seefeld). In dieser Studie wurde das Kapselsystem verwendet, wobei eine Kapsel 272 mg Pulver und 92 mg Lösung enthält.

Das Pulver enthält Calcium-Natrium-Fluor-Phosphor-Aluminiumsilicat im Verhältnis 11:2:13:2:16:56, wobei das Gewicht bezüglich der Zementfarbe leicht variiert. In der Lösung befinden sich Polyacrylsäure und Polymaleinsäure im Verhältnis 1:1, außerdem ist Weinsäure enthalten. Die Kapsel wurde im Hochfrequenzmischer mit ca. 4000 Schwingungen/Minute für 10 Sekunden angemischt und anschließend in 12 vorbereitete Kavitäten mit leichtem Überschuß appliziert.

### Hytac®

Das Kompomer Hytac® (Espe, Seefeld) besteht aus zwei Komponenten. Das Füllungsmaterial besteht aus Monomeren, die sowohl Methacrylgruppen, die einer radikalischen Polymerisation zugänglich sind, als auch Carboxylatgruppen (-COOH) enthalten. Außerdem besteht Hytac® zu 66 Gew.-% aus einem Ca-Al-Zn-Fluorosilikatglas mit einer mittleren Partikelgröße von 5 µm. Yttriumfluorid ist als weiterer Füller in der Matrix enthalten (*Herstellerangaben*).

Die Applikation des Kompomers erfolgte mit Hilfe eines Appliers. Die Kavität wurde vom Boden her in zwei Schichten aufgefüllt. Die Lichthärtung betrug pro Schicht 40 Sekunden (Polymerisationslampe Tranzlux Kulzer). Es wurden 12 Füllungen erstellt.

### Degufill® mineral

Degufill® mineral (Degussa, Hanau) ist ein Feinpartikel-Hybrid-Komposit. Es besteht aus Glaspartikeln, Siliziumdioxid und einem Phosphat-Sulfat-Apatit-Gemisch als Füllstoff. Der Füllstoffgehalt beträgt 79 Gew.-%. Die durchschnittliche Partikelgröße der Füllstoffe beträgt 0,04 µm – 1,5 µm (*Herstellerangaben*).

Das Feinpartikel-Hybrid-Komposit wurde aus der Drehspritze auf einen Anmischblock gegeben und mit einem Heidemann-Spatel in die Kavität eingebracht. Dies geschah in zwei Schichten, wobei die Lichthärtung jeweils 40 Sekunden betrug (Polymerisationslampe Tranzlux Kulzer). Auch hier wurden 12 standardisierte Füllungen erstellt.

### Solitaire®

Solitaire® (Heraeus, Kulzer Dormagen) ist ein lichthärtendes, fluoridhaltiges Feinpartikel-Hybrid-Komposit. Es setzt sich zusammen aus über 60 Gew.-% Füllstoffen. Der Fülleranteil besteht aus SiO<sub>2</sub>, Ba-Al-F-Si und Al-F-Si-Gläsern. Der Matrixanteil basiert auf Acrylaten, welche aus 2-4 Acrylgruppen bestehen (*Herstellerangaben*).

Das Komposit „Solitaire“ wurde in zwei Schichten (1,5mm) aufgetragen und jeweils 40 Sekunden lichtgehärtet (Polymerisationslampe Tranzlux Kulzer). Hiervon wurden insgesamt 12 standardisierte Füllungen hergestellt.

### 3.1.2 Lösungen

#### NaF- Lösung

Um den Einfluß einer täglichen Fluoridapplikation überprüfen zu können, wurde die Hälfte aller Materialproben täglich mit einer Natriumfluoridlösung gespült, deren Fluoridgehalt 1250 ppm betrug.

Eine 1250 ppm Fluoridlösung bedeutet das Lösen von 1,25 g Fluorid pro Liter Flüssigkeit. Da die Elementanteile bei Natriumfluorid den relativen Atommassen von Na (22,99g ) und F (18,998g) entsprechen, wurden 2,76g NaF mit Hilfe der geeichten Digitalwaage abgewogen und in einem Liter Aqua dest. gelöst.

#### TISAB II® (Gesamt-Ionen-Einstell-Puffer, Orion Nr. 940907)

Es wurde der gebrauchsfertige Puffer TISAB II® verwendet. In sauren Lösungen mit einem pH-Wert unter 5 komplexieren Wasserstoffionen einen Teil der Fluoridionen, indem sie die undissoziierte Säure HF und das Ion  $\text{HF}_2^-$  bilden. Das Hydroxid-Ion stört die Funktion der Fluoridelektrode. Die Zugabe von TISAB II® zu den Proben puffert den pH-Wert zwischen 5,0 und 5,5. So werden Störungen durch Hydroxid-Ionen und Bildung von Hydroxidkomplexen des Fluorides verhindert.



## **3.2 Methodik**

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

Die Teflonstäbchen mit den Füllungen wurden nach dem initialen Aushärten 24 Std. in einer feuchten Kammer gelagert, um ähnlich wie in der Mundhöhle eine mögliche geringe Wasseraufnahme der Materialien zu ermöglichen. Darüber hinaus sollte der Glasionomierzement weiter aushärten. Danach wurden die Teflonstäbchen jeweils in 2,5ml Aqua bidest. überführt und bei 37°C unter leichten Rotationsbewegungen (ca. 76 Rotationen/ min. ) gelagert. Nach 24 Stunden wurden die ersten Meßlösungen erstellt, indem von den 2,5 ml Aqua bidest., in dem die Füllungen gelagert waren, 2 ml abpipettiert wurden. Zu diesen 2 ml wurden, analog des bei der Erstellung der Eichkurve beschriebenen Vorgehens, 2 ml TISAB II® zugegeben. Mit Hilfe der ionensensitiven Fluoridelektrode Modell 96-09 (*Colora Orion Research, Cambridge, USA*) wurde die Potentialdifferenz zum internen Elektrodenstandard bestimmt und am Meßgerät (*Orion Modell 701 A*) in mV abgelesen. Mittels einer zuvor erstellten Eichkurve wurde der in der Meßlösung enthaltende Fluoridanteil bestimmt.

Nach der ersten Fluoridbestimmung wurde die Hälfte der Proben einer jeden Versuchsgruppe täglich für 3 Minuten in die 1250 ppm Fluoridlösung gegeben. Die Lösung wurde dabei mittels eines Magnetrührers leicht bewegt. Anschließend erfolgte eine kräftige Spülung der Proben von 2 Minuten mit Aqua bidest., um mechanisch retinierte Anteile der Fluoridlösung zu verdünnen oder zu entfernen. Dies geschah sowohl mit den fluoridierten als auch mit den nicht fluoridierten Materialproben. Danach wurden die Füllungen für 24 Std. erneut in 2,5 ml Aqua bidest. in die Wärmekammer gebracht. Es erfolgte somit ein täglicher Wasserwechsel.

In dieser Weise wurden die Proben vier Wochen lang mit bzw. ohne tägliche Fluoridierung gelagert. Die Messungen der innerhalb von 24 Stunden freigesetzten Fluoridmenge wurde nur zu bestimmten Tagen durchgeführt. Die Messungen erfolgten am 1. Tag, 2. Tag, 4. Tag, 8. Tag, 14. Tag, 21. Tag und am 28. Tag nach der Aushärtung.

### **3.2.2 Bestimmung der Fluoridfreisetzung**

Die Fluoridfreisetzung erfolgte mit der ionensensitiven Fluoridelektrode Orion 96-09 (*Colora, Orion Research, Cambridge, USA*). Diese wurde mit der vom Hersteller gelieferten Lösung Nr. 90-00-01 (*Orion Research*) gefüllt. Das Elektrodenpotential wurde am Digital-pH-/mV-Meter Orion 701 A (*Colora Orion Research, Cambridge, USA*) abgelesen. Weitere vorbereitende Maßnahmen waren das Überprüfen der Elektrodenfunktion sowie das Erstellen einer Fluorid-Eichkurve.

Die Funktionsfähigkeit der Elektrode wurde vor Beginn sowie alle 7 Tage während des mehrwöchigen Messens des Fluoridgehaltes in den jeweiligen Lösungen überprüft. Hierzu wurden 25ml Aqua bidest., 25ml TISAB II ® sowie 0,5ml 100 ppm Fluoridstandardlösung (Kat.- Nr.94-09-07 Orion Research, Cambridge, USA) zusammengegeben und gut durchgerührt. Unter leichten Schüttelbewegungen (Magnetrührer) wurde das Elektrodenpotential nach 15 Minuten notiert. Anschließend wurden 5ml der 100ppm Fluorid-Standardlösung hinzupipettiert. Auch hier wurde das Elektrodenpotential in mV nach 15 Minuten notiert. Die Differenz zwischen den beiden Potentialen wurde ermittelt. Eine einwandfreie Elektrodenfunktion war gewährleistet, wenn die Potentialdifferenz im Bereich von  $-56 \pm 2$  mV bei einer Umgebungstemperatur zwischen 20°C und 25°C lag.

### Eichkurve:

Zur Erstellung einer Fluorid-Eichkurve wurde folgende Lösung angefertigt:

Fluorid-Standardlösung (100ppm)

=>Verdünnung: 1:10; 10ml auf 100ml auffüllen: 10 ppm - Fluoridlösung

Verdünnungsreihe: von der 10 ppm-Fluoridlösung

25,00	ml	ad	50ml	mit aqua bidest. auffüllen =>	5,00 ppm-Fluoridlösung
10,00	ml	ad	50ml	mit aqua bidest. auffüllen =>	2,00 ppm-Fluoridlösung
5,00	ml	ad	50ml	mit aqua bidest. auffüllen =>	1,00 ppm-Fluoridlösung
10,00	ml	ad	200ml	mit aqua bidest. auffüllen =>	0,50 ppm-Fluoridlösung
1,00	ml	ad	50ml	mit aqua bidest. auffüllen =>	0,20 ppm-Fluoridlösung
0,50	ml	ad	50ml	mit aqua bidest. auffüllen =>	0,10 ppm-Fluoridlösung
0,25	ml	ad	50ml	mit aqua bidest. auffüllen =>	0,05 ppm-Fluoridlösung

Es wurden je 2 ml der jeweiligen Verdünnung und 2ml TISAB II® zusammen pipettiert, wobei zwei Parallelansätze pro Verdünnung angesetzt wurden. Unter ständigem Rühren (Magnetrührer) wurde das Elektrodenpotential der Fluoridelektrode nach 15 Minuten abgelesen.

Nachdem zunächst die 0,50 ppm Fluoridlösung mehrfach gemessen und das pH/mV-Meter auf 73,70 mV justiert wurde, erfolgte die Messung aller anderen Fluoridlösungen der Verdünnungsreihe auf dieselbe Art. Die Messung erfolgte nach ansteigender Konzentration. Aus den Parallelansätzen wurde jeweils der Mittelwert gebildet. Die Werte wurden anschließend auf halblogarithmischem Papier aufgetragen und die Eichkurve erstellt (*siehe Anhang*).

Ziel der Studie war es, auf die Probenoberfläche der Füllungsmaterialien bezogen Aussagen zur Fluoridfreisetzung treffen zu können. Daher war eine Umrechnung der in Aqua bidest. gelösten Fluoridmengen auf die freigesetzte Probenoberfläche ( $\text{cm}^2$ ) erforderlich. Hierbei wurde folgendermaßen vorgegangen:

Bekannt sind

1.

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

2. Die Füllungsoberfläche beträgt bei einem Probendurchmesser von  $4\text{mm} = 0,126\text{cm}^2$

$$\begin{aligned} \text{Oberfläche} &= \pi \times r^2 \\ \text{Oberfläche} &= 3,14 \times 0,2^2 \\ \text{Oberfläche} &= 0,126 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

Somit stammen die je ml Lösung gefundenen  $\mu\text{g}$  Fluorid aus  $0,126 \text{ cm}^2$  Probenoberfläche. Vor Umrechnung auf  $1\text{cm}^2$  Probenoberfläche gilt es zu berücksichtigen, daß in dem Lagergefäß  $2,5 \text{ ml}$  Aqua bidest. enthalten waren. Es wurden jedoch nur  $2\text{ml}$  zur Bestimmung der Fluoridkonzentration entnommen. Somit muß die freigesetzte Fluoridmenge um einen Faktor  $1,25$  höher als die gemessene Menge sein.

Weiterhin ist zu berücksichtigen, daß die Bestimmung der Fluoridkonzentration in Aqua bidest. auf 1ml bezogen erfolgte. Die Gesamtfluoridmenge in 2ml ist jedoch doppelt so hoch wie die pro ml bestimmte Konzentration. Da die Zielvariable der Berechnung die aus dem Füllungsmaterial tatsächliche freigesetzte Fluoridmenge ist, muß ein weiterer Umrechnungsfaktor „2“ in Ansatz gebracht werden.

Es ergibt sich also pro cm<sup>2</sup> Probenoberfläche:

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

Wird also das Produkt zwischen der Aqua-bidest.-Fluoridkonzentration (in ppm) und dem Faktor 19,84 gebildet, ergibt sich die Fluoridfreisetzung bezogen auf die Probenoberfläche in µg/ cm<sup>2</sup>.

### **3.3 Statistische Auswertung**

Zur statistischen Überprüfung wurden die Meßwerte der einzelnen Untersuchungsgruppen auf signifikante Differenzen überprüft. Hierzu wurde das Statistikprogramm Statview (*Abacus Concepts, C-Berkeley*) verwendet. Zur Bestätigung signifikanter Unterschiede war ein Signifikanzniveau von  $p=0,05$  zu unterschreiten.

Zum einen erfolgte die statistische Auswertung mittels Kruskal-Wallis-Test. Es handelt sich hierbei um einen parameterfreien Test. Parameterfreie Tests prüfen Hypothesen über Daten, für die eine zugrundeliegende Verteilung nicht bekannt ist. Der Kruskal-Wallis-Test prüft die Hypothese, ob zwei oder mehr Gruppen die gleiche Verteilung aufweisen gegen die Alternative, daß wenigstens eine dieser Gruppen eine andere Verteilung aufweist. Der Test basiert auf einer Rangfolge der Einzelmeßwerte, um aufzuzeigen, ob eine Gruppe größere Rangwerte als andere hat. Die Auswertung erfolgte auf die Gesamtdati bezogen, also auf alle Untersuchungsgruppen. Der Kruskal-Wallis-Test erlaubt Aussagen darüber, ob innerhalb der Gesamtdati signifikant unterschiedliche Gruppen vorhanden sind.

Zur weiteren statistischen Auswertung wurde der Mann-Whitney-Test herangezogen. Dieser Test erfolgte, um jeweils zwei bestimmte Gruppen miteinander zu vergleichen, mit der Fragestellung, ob sich die zugrundeliegenden Meßreihen signifikant voneinander unterscheiden. Bei dem Mann-Whitney-Test handelt es sich ebenfalls um einen parameterfreien Test. Dieser Test prüft die Hypothese, daß die Verteilung zweier Gruppen sich gleich verhält. Die Anforderung für die Gültigkeit des Mann-Whitney-Test sind, daß die betrachteten Gruppen kontinuierliche Meßwerte enthalten und unabhängig voneinander sind. Der Mann-Whitney-Test ist beständig gegen Ausreißer in irgendeiner der zu vergleichenden Gruppen.

#### **4. Ergebnisse**

Die Ergebnisse sind in Tab.2 und den Abb. 1-4 dargestellt. Die Fluoridfreisetzung aus dem Glasionomierzement Ketac-Fil® (*Abb. 1*) war zu jedem Zeitpunkt höher als die aus den übrigen Untersuchungsgruppen. Ketac-Fil® zeigte dabei sowohl mit als auch ohne lokale Fluoridapplikation statistisch signifikante höhere Fluoridabgaben ( $p < 0,01$ ). Alle Materialien wiesen in den ersten 24 Stunden besonders hohe Fluoridabgaben auf. Beim Vergleich aller Materialien während der gesamten Studiendauer, sowohl mit als auch ohne lokale Fluoridapplikation, fällt auf, daß sich die Untersuchungsgruppen zu jeder Zeit unterscheiden ( $p \leq 0,001$  und  $p < 0,01$  - Kruskal-Wallis-Test).

Das Kompomer Hytac® zeigte ohne lokale Fluoridapplikation während der ersten 4 Tage eine ähnliche Fluoridabgabe wie das Hybrid-Komposit Solitaire®. Danach ergaben sich statistische Signifikanzen ( $p < 0,01$ ) zugunsten des Kompomers Hytac®.

Bei den Hybridkompositen (Degufill® mineral und Solitaire®) ohne lokale Fluoridapplikation zeigten sich während der ersten zwei Wochen Unterschiede, welche hoch signifikant waren ( $p < 0,01$ ). Aus Tab.2 und den Abb.3 und 4 ist ersichtlich, daß Solitaire® wesentlich höhere Fluoridabgaben als Degufill mineral® aufwies. Bei Degufill® mineral war bereits die initiale Freisetzung sehr gering – wie auch die Fluoridabgabe während der gesamten Studiendauer.

Auch bei den Hybridkompositen mit lokaler Fluoridapplikation zeigten sich mit Ausnahme des 4. Tages signifikante Differenzen zugunsten Solitaire® ( $p < 0,01$ ). Während der ersten 4 Tage glichen sich die aus Solitaire® und die aus dem Polyalkensäure-modifizierten Komposit Hytac® freigesetzten Fluoridmengen. Nach dem 4. Tag wurden aus den drei Materialien mit lokaler Fluoridapplikation nur noch gering differierende Fluoridmengen abgegeben.

Tab. 2: Fluoridfreisetzung ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ ) aus Füllungsmaterialien mit und ohne regelmäßige Applikation einer 1250-ppm-Natriumfluorid-Lösung

Zeitpunkt nach Aushärten	Degufill® mineral		Solitaire®		Hytac®		Ketac-Fil®	
	Kontrolle	Fluorid-Appl.	Kontrolle	Fluorid-Appl.	Kontrolle	Fluorid-Appl.	Kontrolle	Fluorid-Appl.
24 h <sup>1)</sup>	1,6 ± 0,4	1,3 ± 0,1	19,5 ± 2,4	21,9 ± 8,9	14,1 ± 4,4	12,9 ± 3,0	84,5 ± 26,9	91,6 ± 27,3
2 d	0,5 ± 0,5	1,1 ± 0,3	6,2 ± 2,3	5,8 ± 1,8	6,9 ± 1,8	8,0 ± 2,3	27,8 ± 9,4	42,4* ± 10,7
4 d	0,1 ± 0,3	2,4** ± 1,5	4,7 ± 2,5	4,3 ± 1,0	4,1 ± 1,5	7,2** ± 1,5	15,3 ± 5,7	37,4** ± 7,5
8 d	0,0 ± 0,0	1,3** ± 0,6	2,1 ± 0,6	3,3* ± 1,0	2,8 ± 0,5	5,5** ± 1,3	12,3 ± 2,1	31,5** ± 5,8
14 d	0,1 ± 0,3	2,3** ± 0,4	2,6 ± 0,9	4,5* ± 1,1	1,0 ± 0,2	4,5** ± 3,7	6,4 ± 2,8	23,7** ± 11
21 d	1,0 ± 0,2	2,5** ± 0,4	1,0 ± 0,1	3,7** ± 1,1	2,0 ± 0,5	5,5** ± 1,0	5,4 ± 1,6	24,6** ± 3,5
28 d	0,8 ± 0,2	1,0 ± 0,4	0,8 ± 0,1	2,4** ± 0,6	1,3 ± 0,2	4,0** ± 1,1	4,3 ± 1,4	19,8** ± 6,7

<sup>1)</sup> Vor der ersten Fluorid-Applikation; \*:  $p \leq 0,05$ ; \*\*:  $p \leq 0,01$   
(Whitney-Mann-Test zum Vergleich der fluoridierten und nicht-fluoridierten Proben)



Vergleicht man innerhalb der gleichen Materialien die Untergruppen mit und ohne regelmäßiger Fluoridierung und stellt damit den Fluoridierungseffekt dar, so zeigt sich, daß sich die Untergruppen spätestens ab dem 8.Tag der Studie unterscheiden und dabei eine statistisch signifikante Differenz ( $p < 0,01$ ) für die restliche Zeit der Studie aufweisen (*Tabelle 2*). Nur das Hybridkomposit Degufill®mineral zeigt am 28.Tag keinen Fluoridierungseffekt auf.

Für Ketac-Fil® konnte die höhere Fluoridabgabe nach Fluoridexposition ab der ersten Messung zwei Tage nach Anmischen des Materials, für Degufill mineral® und Hytac® nach 4 Tagen und Solitaire® nach 8 Tagen dargestellt werden. Das späte Differieren der fluoridierten bzw. nicht-fluoridierten Solitaire-Proben geht mit einer relativ hohen Fluoridfreisetzung der nicht-fluoridierten Solitaire-Probekörper einher (*Tabelle 2*).

In den Abb. 5 und 6 sind die einzelnen Untersuchungsgruppen mit und ohne lokale Fluoridapplikation dargestellt. Die bereits aufgeführten Ergebnisse werden verdeutlicht. Es ist zu erkennen, daß nach initial hoher Fluoridabgabe und raschem Abfall der während jeweils 24 Stunden freigesetzten Fluoridmenge alle Materialien nach acht Tagen ein relativ stabiles Fluoridabgabenniveau erreichen.

Abb. 1: Fluoridfreisetzung aus dem Glasionomerzement Ketac-Fil®

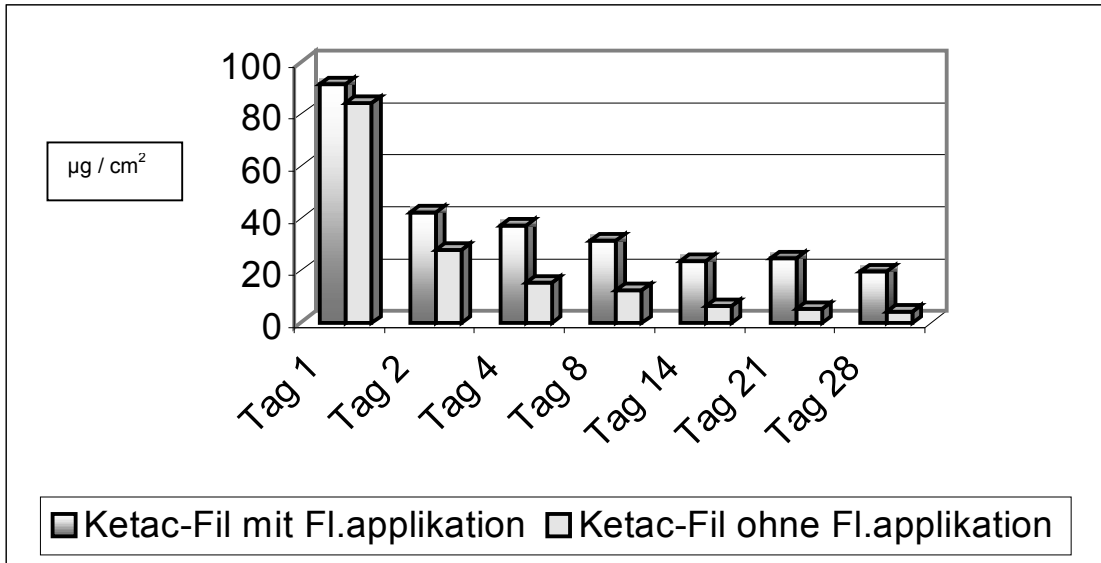


Abb. 2: Fluoridfreisetzung aus dem Kompomer Hytac®

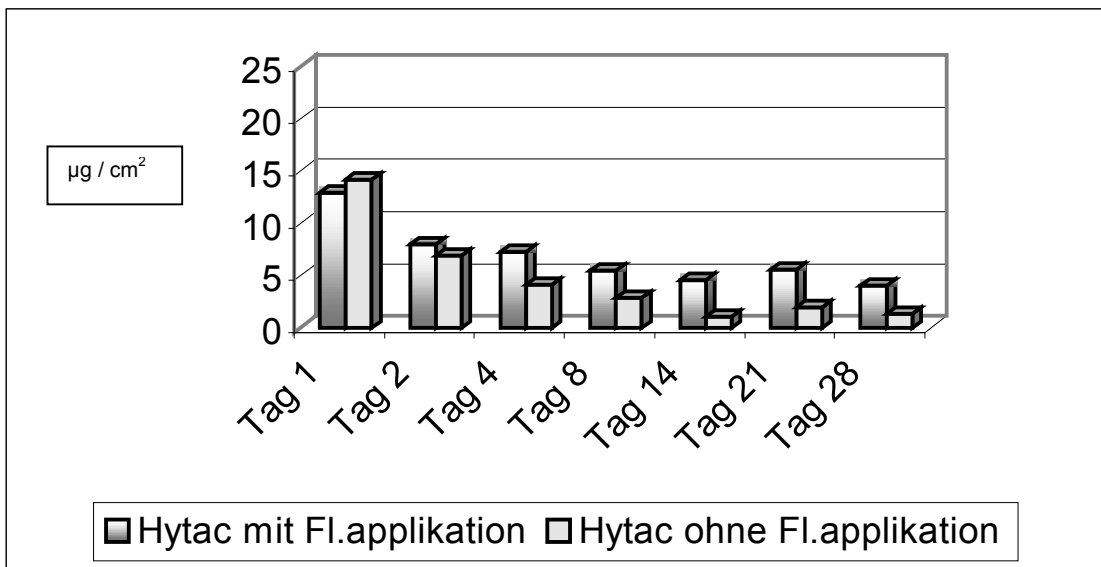


Abb. 3: Fluoridfreisetzung aus dem Hybridkomposit Degufill® mineral

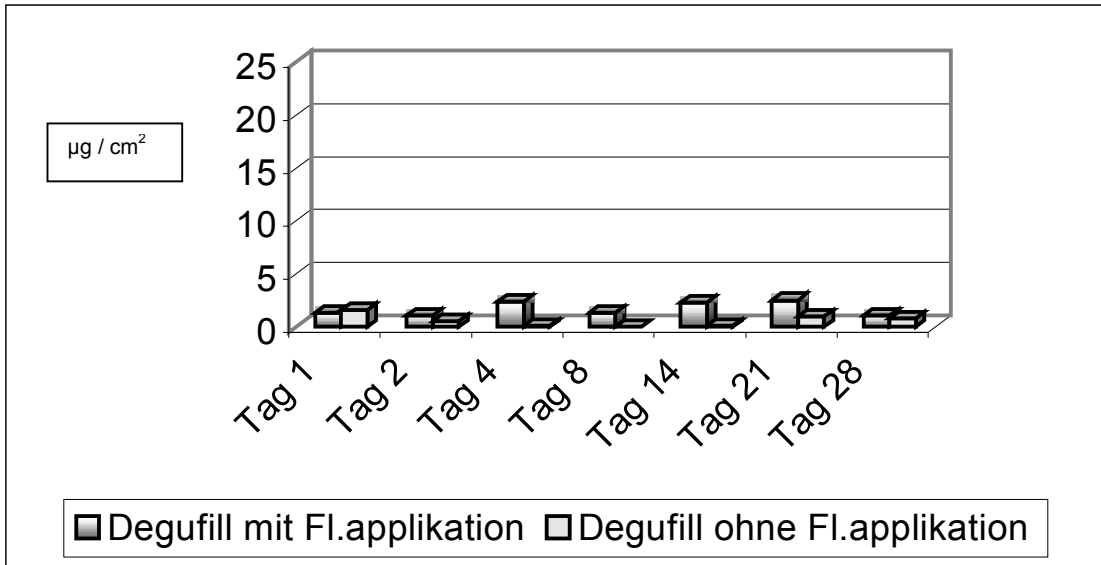


Abb. 4: Fluoridfreisetzung aus dem Hybridkomposit Solitaire®

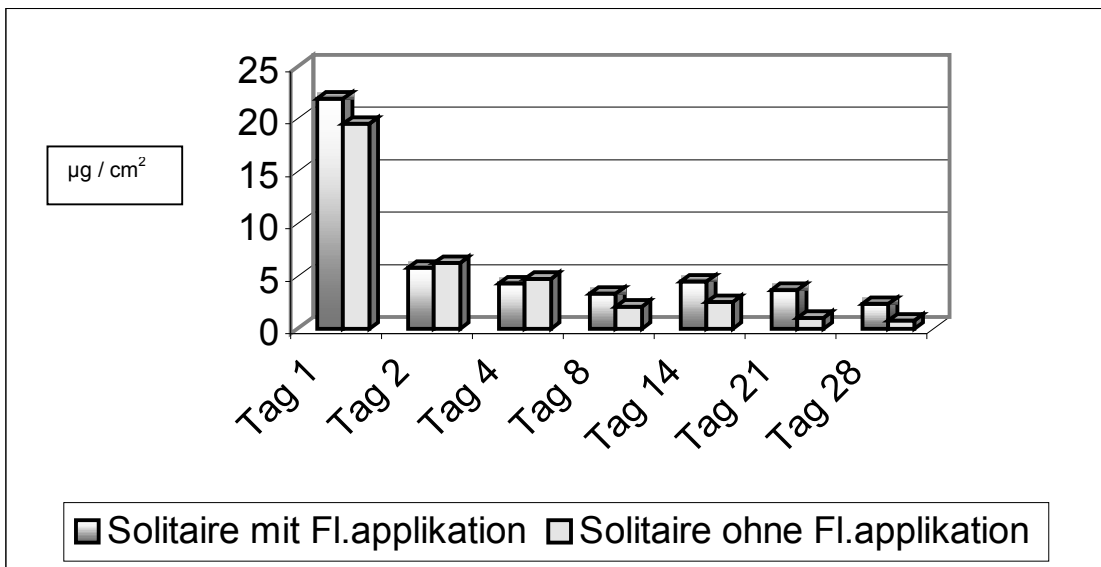


Abb. 5: Fluoridfreisetzung aus Kompositen, Kompomer und Glasionomerzement ohne Fluoridapplikation

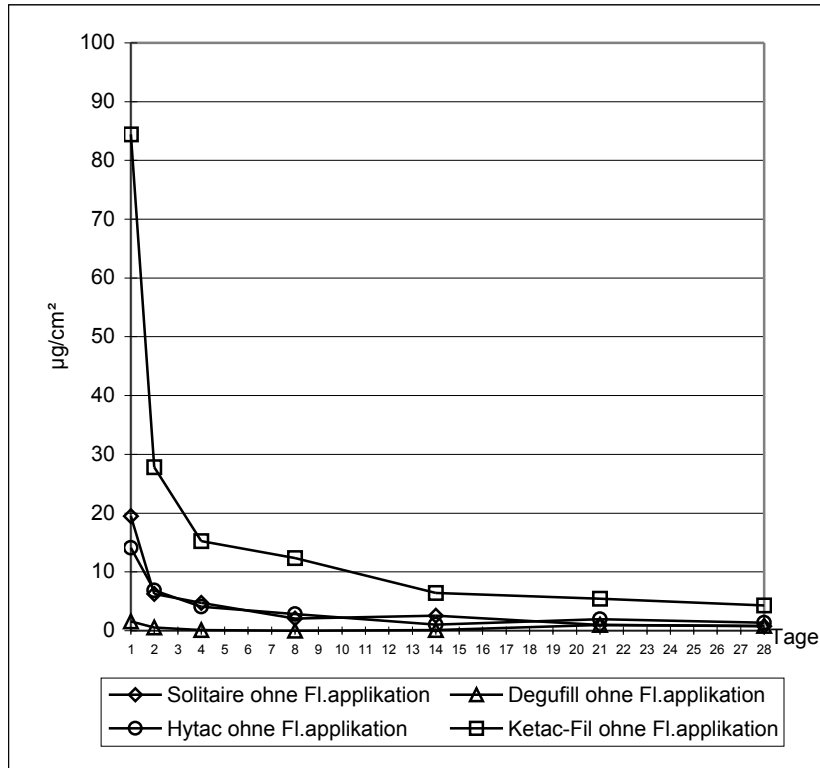
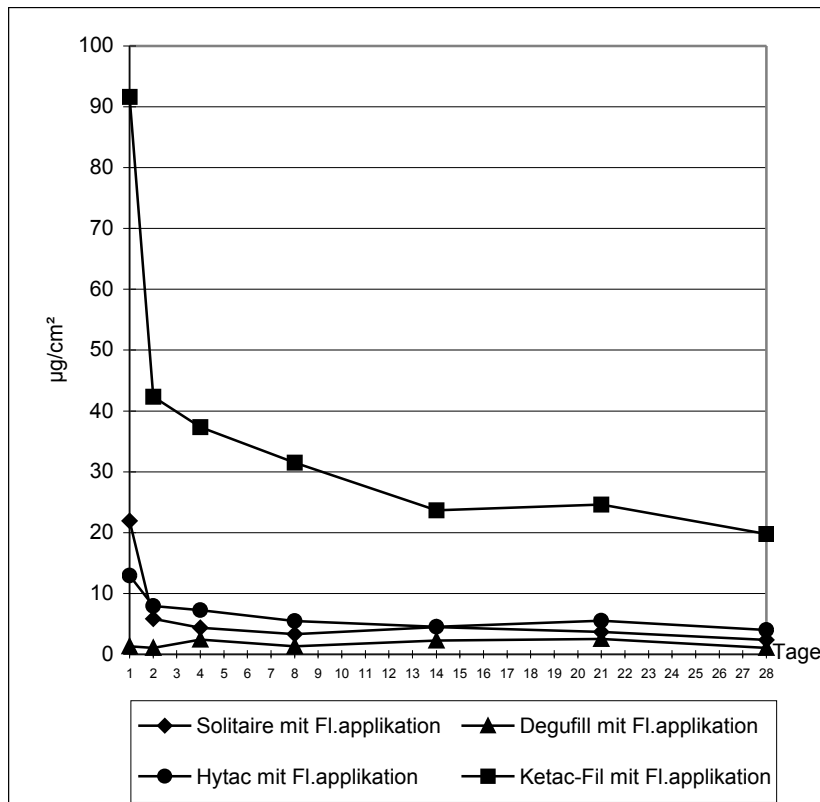


Abb. 6: Fluoridfreisetzung aus Kompositen, Kompomer und Glasionomerzement mit Fluoridapplikation



## 5. Diskussion

In der vorliegenden In-vitro-Studie wird unter standardisierten Bedingungen die Fluoridfreisetzung aus zwei Hybrid-Kompositen überprüft und mit der Fluoridabgabe aus einem Polyalkensäure-modifizierten Komposit und einem Glasionomerzement verglichen. Zusätzlich wird untersucht, inwieweit die Fluoridfreisetzung unter dem Einfluß regelmäßiger lokaler Applikation einer Fluoridlösung mit 1250 ppm Fluorid, was der mittleren Fluoridkonzentration von Zahnpasten entspricht, gesteigert werden kann.

Studien zur Fluoridfreisetzung aus Füllungsmaterialien sind von aktuellem Interesse, weil derzeit ein Wandel bei der Verwendung einzelner Füllungsmaterialien zu beobachten ist. Die Amalgamfüllungstherapie tritt zunehmend in den Hintergrund, hierfür werden in Abhängigkeit ihrer spezifischen Materialeigenschaften Glasionomerzemente, Kompomere und Komposite verwendet (*Meißner 1994*). Insbesondere auch die Versorgung kleiner Defekte gestattet es, auf dieses breite Spektrum neuer Füllungsmaterialien zurückzugreifen. Glasionomerzemente zeichnen sich durch Fluoridabgabe und eine damit einher gehende Hemmung von Karies und Sekundärkaries aus (*Friedl et al. 1992, Forsten 1994, Benelli et al. 1993*). Bei einigen neuen Kompositen weisen die Hersteller auch auf deren Fähigkeit zur Fluoridfreisetzung und -wiederaufnahme („Refill Effect“) hin. Möglicherweise soll hiermit eine den Glasionomerzementen vergleichbare Wirkung der Fluoridabgabe suggeriert werden. Es ist daher geboten, vergleichende Aussagen zur Fluoridfreisetzung aus den neuen Materialien zu treffen.

Die Studie zeigt, daß auch Komposite und Kompomere länger andauernd Fluorid abgeben können. Dabei wird jedoch die Abgabemenge des Glasionomerzements bei weitem nicht erreicht. Dies trifft für alle untersuchten Komposite bzw. Kompomere zu. Es zeigt sich zwar innerhalb der ersten 24 Stunden eine hohe Fluoridabgabe, welche aber ab dem 2.Tag auf ein deutlich niedrigeres Niveau absinkt. Dabei unterscheiden sich die Komposite deutlich voneinander. Das Komposit Solitaire® verhält sich ähnlich wie das Polyalkensäure-modifizierte Komposit Hytac®, das Komposit Degufill® mineral hingegen weist beim Vergleich eine sehr geringe Fluoridabgabe auf.

Bevor auf die Studienergebnisse detaillierter eingegangen wird, sollen zunächst verschiedene Aspekte der Untersuchungsmethode diskutiert werden

#### *Untersuchungsmethode*

Hierbei ist zu diskutieren, inwieweit die Fluoridfreisetzung aus den verschiedenen Materialien unter anderen Umgebungsbedingungen als den hier gewählten unterschiedlich sein mag. Dabei sind der Einfluß von pH-Wert sowie von Speichel und Plaque zu berücksichtigen.

*Attin et al (1996)* stellten in diesem Zusammenhang fest, daß die initiale Fluoridfreisetzung aus Kompomeren im sauren Milieu größer ist als im neutralen Milieu. Glasionomerzement-modifizierte Füllungsmaterialien zeigen bei niedrigen pH-Werten ebenfalls eine erhöhte Fluoridabgabe (*Forsten 1990, 1995*). Somit wird mit dem vorliegenden experimentellen Aufbau die Fluoridfreisetzung in der Mundhöhle möglicherweise unterschätzt. Andererseits hingegen ist bekannt, daß bei In vitro-Studien zur Fluoridfreisetzung aus Füllungsmaterialien das Lagerungsmedium großen Einfluß haben kann. Sowohl *Rezk-Lega et al. (1991)* als auch *Glockman et al. (1997)* verglichen hierzu die Verwendung von Speichel mit der von Aqua bidest. Die Autoren kamen zu dem Ergebnis, daß die Fluoridfreisetzung in Aqua bidest. signifikant höher sei als im Speichel. Betrachtet man den Versuchsaufbau der vorliegenden Studie, so kann durch den Einsatz von Aqua bidest. anstelle von Speichel als Lagerungslösung der ermittelte Fluoridumsatz im Vergleich zur oralen Situation zu hoch dargestellt sein.

Mögliche Auswirkungen von Plaque und Pelikel wurden bei dieser Versuchsanordnung ebenso wie in den anderen zitierten Studien nicht berücksichtigt.

Die hier zu täglichen Fluoridierung verwendete Fluoridkonzentration (1250 ppm) entspricht dem durchschnittlichen Fluoridgehalt von Zahnpasten. Auch wenn es in vivo zu einer Verdünnung der Zahnpaste durch die Mundflüssigkeit kommt, so scheinen im Rahmen der Versuchsbedingungen doch vergleichende Rückschlüsse auf das klinische Verhalten von Glasionomer-modifizierten Füllungsmaterialien oder fluoridhaltigen

Kompositen bei durchschnittlicher täglicher Mundhygiene möglich, da die experimentellen Bedingungen gleichermaßen für alle untersuchten Materialien gelten.

Die vorliegende Studie erstreckt sich über einen Untersuchungszeitraum von 28 Tagen. Für weiterreichende Aussagen über die Hemmung von Karies und Sekundärkaries neben fluoridfreisetzenden Kompositen bedarf es klinischer Langzeitstudien. Eine Langzeitstudie ermöglicht neben Aussagen über die Auswirkung der Fluoridabgabe auf die Zahnhartsubstanz auch Aussagen über Einflüsse auf die Mikroflora. *Forss et al. (1995)* führten eine Studie über die Fluoridabgabe 3 Jahre alter Glasionomerfüllungen durch. Sie stellten fest, daß keine signifikanten Effekte auf die kariesassoziierte Mikroflora erreicht wurden. Zudem wurde erkannt, daß nach lokaler Fluoridapplikation auf diese Füllungen auch keine signifikante Erhöhung der Fluoridkonzentration in der aufliegenden Plaque zu erreichen war.

In der vorliegenden Studie wird gezeigt, daß alle untersuchten Materialien Fluorid wiederaufnehmen können. Die erhöhte Abgabe von Fluorid nach lokaler Applikation kann durch unterschiedliche Weisen der Fluoridretention verursacht werden. Zum einen kann eine chemische Bindung von Fluorid an das Füllungsmaterial erfolgen. Zum anderen kann mechanisches Verbleiben von Resten der Fluoridlösungen in oberflächlichen Porositäten des Füllungsmaterials zur erhöhten Abgabe führen.

Um den Faktor der mechanischen Einlagerung so gering wie möglich zu halten, wurden in der vorliegenden Studie die Füllungsflächen poliert. Zudem wurden die Proben nach der Natriumfluoridexposition mit Aqua bidest. gespült, so daß mechanisch retinierte Anteile der Fluoridlösung verdünnt oder entfernt wurden. Das ein Einfluß mechanischer Anlagerung gering gehalten werden konnte zeigt sich daran, daß mit fortgeschrittener Studiendauer kontinuierlich weniger Fluorid „wiederaufgeladen“ wurde. Effekte einer mechanischen Einlagerung in die Oberflächenstruktur dürften demgegenüber über die gesamte Studiendauer gleichbleiben. Für das Hybrid-Komposit Solitaire® weist darüber hinaus der nicht erkennbare „Refill Effect“ in den ersten Tagen darauf hin, daß mechanische Anlagerungseffekte keine bedeutende Rolle spielten.

## *Ergebnisse*

Es wird gezeigt, daß auch Komposite und Kompomere länger andauernd Fluorid abgeben können. Die freigesetzten Fluoridmengen unterscheiden sich jedoch erheblich. Die aus dem Glasionomerzement freigesetzte Fluoridmenge wird von keinem der Komposite erreicht. Innerhalb der ersten 24 Stunden nach Abbinden wird aus jedem Material relativ viel Fluorid frei. Dabei ist eine Rangfolge

1. Ketac-Fil®
2. Solitaire®
3. Hytac®
4. Degufill® mineral

zu ermitteln. Initial wird aus dem Hyridkomposit Solitaire® also mehr Fluorid als aus dem Kompomer Hytac® freigesetzt. Dabei ist bemerkenswert, daß Ketac-Fil® unter den getesteten Materialien nur den zweitgrößten Fluoridgehalt mit 10,6 Gew.-% aufweist. Das Material mit dem größten Fluoridanteil (16 Gew.-%) ist das Kompomer Hytac. Dieses hat insgesamt jedoch eine nur geringfügig höhere Fluoridabgabe als Solitaire® mit 5 Gew.-% Fluorid.

Ab dem 2. Tag nach Abbinden sinkt die Fluoridabgabe bei allen Materialien auf ein deutlich niedrigeres Niveau ab. Auch hierbei ist die größte abgegebene Fluoridmenge bei dem Glasionomerzement feststellbar. Die Komposite geben allesamt weniger Fluorid ab, unterscheiden sich dabei aber teilweise deutlich voneinander. Das Komposit Solitaire® verhält sich ähnlich wie das Polyalkensäure-modifizierte Komposit Hytac®, das Komposit Degufill® mineral hingegen weist beim Vergleich eine nur sehr geringe Fluoridabgabe auf. Bei Degufill® mineral wird bereits ab dem 4. Tag nach Abbinden des Materials eine täglich in etwa gleich niedrige Fluoridmenge freigesetzt. Ein derartiges in etwa gleichbleibendes Niveau der täglichen Fluoridfreisetzung wird bei Hytac® und Solitaire® nach 8 Tagen, bei Ketac-Fil® nach 14 Tagen festgestellt.

Neben diesen Ergebnissen zur Fluoridfreisetzung der verschiedenen Komposite und des Glasionomerzementes legt die Studie auch dar, daß fluoridfreisetzende Komposite durch lokale Fluoridapplikation geringfügig „wiederaufladbar“ sind und dieses Fluorid erneut an ihre Umgebung abgeben können.



Durch die Wiederaufnahme von Fluorid wird bei der gewählten Konzentration der applizierten Fluoridlösung von 1250 ppm die initial aus den verschiedenen Materialien freigesetzte Fluoridmenge allerdings nicht wieder erreicht.

Im Vergleich der untersuchten Materialien nach Fluoridapplikation nimmt wiederum der Glasionomerzement zu jedem Zeitpunkt der Studie auch am meisten Fluorid wieder auf. Keines der neuen Materialien weist eine ähnlich hohe Kapazität zur Fluoridwiederaufnahme auf. Im Vergleich zum Glasionomerzement geben Solitaire® und Hytac® nach der initialen Phase hoher Fluoridfreisetzung, wenn kein weiteres Fluorid appliziert wird, in etwa ein Viertel der von Ketac-Fil® abgegebenen Fluoridmenge frei. Wird hingegen Fluorid appliziert, wird dieser Vergleich aufgrund der relativ hohen Fluoridaufnahme durch den Glasionomerzement noch ungünstiger für die neuen Materialien.

Unter dem Einfluß der regelmäßigen Fluoridapplikation ist eine unterschiedlich hohe Fluoridabgabe der Komposite zu beobachten, woraus auf eine unterschiedlich hohe Fluoridaufnahme geschlossen werden kann. So liegt nach Fluoridapplikation das Polyalkensäure-modifizierte Komposit Hytac® deutlich über den Werten der Hybridkomposite. Dennoch verbleibt ein großer Abstand zum Glasionomerzement.

In einer ähnlichen Versuchsanordnung beobachteten *Young et al. (1996)* bei Kompositen, daß eine in wöchentlichen Abstand applizierte 1000 ppm Fluoridlösung zu einer deutlich gesteigerten Fluoridabgabe führte. Dies steht im Gegensatz zu den vorliegenden Beobachtungen. Allerdings betrug die Expositionszeit der Materialproben mit der NaF-Lösung bei *Young et al. (1996)* 10 Minuten, während die Expositionszeit in der vorliegenden Studie nur 3 Minuten betrug. Für klinische Schlußfolgerungen erscheint die Fluoridierungszeit von täglich 3 Minuten realistischer als die von einmal wöchentlich 10 Minuten.

Die Materialien spiegeln mit ihrem Verhalten die unterschiedlichen Zusammensetzungen und Abbindereaktionen von Glasionomerzementen (Säure-Base-Reaktion), Kompositen (Polymerisation) und Kompomeren (Säure-Base-Reaktion und Polymerisation) wieder. Das Fluorid in den Materialien ist in Form verschiedener Füllstoffe

mit unterschiedlicher Löslichkeit wie beispielsweise Gläsern, Apatit, Ytterbium-Trifluorid oder Strontiumfluorid enthalten. Zudem zeigt sich eine starke Variation des Fluoridgehaltes (Tab.1). Bereits *Hösted-Bindslev und Larsen (1990)* zeigten, daß die Zusammensetzung Einfluss auf die Fluoridfreisetzung der Glasionomere zemente und deren Modifikationen hat.

Die Hybrid-Komposite zeigen während der gesamten Studie eine insgesamt geringe Fluoridabgabe und –wiederaufnahme. Dies steht im Zusammenhang mit deren niedrigen Löslichkeit, wobei die anfänglich höhere Fluoridfreisetzung aus Solitaire® durch dessen gegenüber Degufill® mineral größere Wasseraufnahme erklärt werden kann. Das Polyalkensäure-modifizierte Komposit Hytac® zeigt einen etwas höheren Fluoridumsatz, der durch seinen höheren Fluoridgehalt zustande kommt. Zudem besteht gegenüber den Hybrid-Kompositen eine gesteigerte Wasseraufnahme und Löslichkeit, welche auch hier ihren Einfluß nehmen.

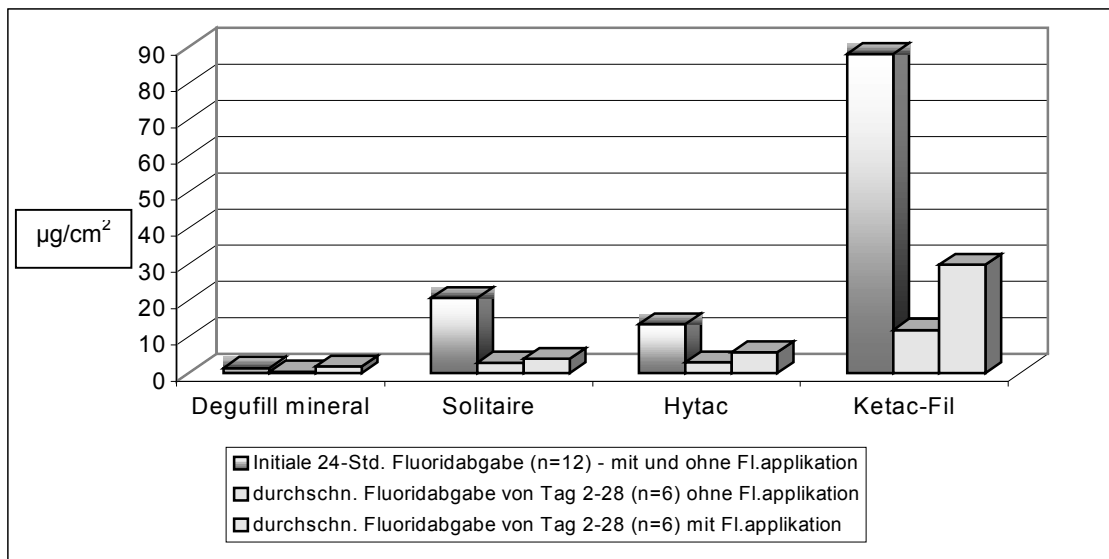
Ein wichtiger Diskussionspunkt ist, ob die gefundene Abgabe, Aufnahme und Wiederabgabe von Fluorid durch die Füllungsmaterialien für einen klinisch kariesshemmenden Effekt ausreichen. Hierzu soll zunächst eine weitere Darstellung der freigesetzten Fluoridmengen erfolgen, in welcher eine Gegenüberstellung der initialen Fluoridfreisetzung sowie der nachfolgenden Abgabe mit oder ohne tägliche Fluoridexposition erfolgt (Tabelle 3 und Abb. 7). Dieser Vergleich hat zwar nur die für die Fluoridbestimmung gewählten Tage zur Grundlage und erfolgt nicht kontinuierlich über jeden einzelnen Tag. Dies ist jedoch für eine Beurteilung der Fluoridaufnahme unerheblich, da für die Teilgruppen mit bzw. ohne Fluoridapplikation gleichermaßen verfahren wurde. Da der Durchschnitt der Tage 2, 4, 8, 14, 21 und 28 gebildet wird, und da die Fluoridabgabe an den Tagen 2, 4 und 8 kurz nach Anmischen der Materialien noch relativ hoch ist, wird dieser Durchschnitt höhere Werte ausweisen, als wenn für alle Tage zwischen dem 2. und 28. Untersuchungstag ein Mittelwert gebildet worden wäre. Somit wird der in dieser Betrachtung bestimmte Wert für die durchschnittliche Fluoridfreisetzung nach den ersten 24 Stunden keinesfalls zu niedrige Angaben enthalten.

Tab. 3: Mittlere initiale Fluoridabgabe ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ ) und weitere Fluoridfreisetzung mit und ohne regelmäßige Applikation einer 1250-ppm-Natriumfluorid-Lösung

Material	Initiale 24-Std. Fluoridabgabe (n = 12)	Durchschnittliche Fluoridfreisetzung von Tag 2-28		
		ohne Fl.applikation (n = 6)	mit Fl.applikation (n = 6)	zusätzliche Fluoridfreisetzung
Degufill® mineral	1,4 ± 0,3	0,4 ± 0,2	1,8** ± 0,3	1,4
Solitaire®	20,7 ± 6,4	2,9 ± 1,0	4,0* ± 0,3	1,1
Hytac®	13,5 ± 3,6	3,0 ± 0,5	5,8** ± 1,5	2,8
Ketac-Fil®	88,0 ± 26,1	11,9 ± 3,1	29,9** ± 5,0	18,0

\*:  $p = 0,05$ ; \*\*:  $p \leq 0,01$  (Whitney-Mann-Test)

Abb. 7: Initiale Fluoridabgabe ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ ) der Füllungsmaterialien und Fluoridabgabe mit und ohne lokaler Applikation einer 1250-ppm-Natriumfluorid-Lösung



Zunächst bestätigt die Gegenüberstellung die besonders hohe Fluoridfreisetzung in den ersten 24 Stunden nach Aushärten von Ketac-Fil®, in geringerem Maße auch von Solitaire® und Hytac®. Initial wird aus dem Hybridkomposit Solitaire® mehr Fluorid als aus dem Kompomer Hytac® freigesetzt.

In den folgenden Tagen und Wochen ist die durchschnittliche Fluoridabgabe, sofern keine Fluoridexposition erfolgt, bei allen Materialien deutlich niedriger als die initiale Fluoridabgabe. Unter regelmäßiger Applikation der NaF-Lösung werden die in Tabelle 3 und Abbildung 7 ebenfalls dargestellten durchschnittlichen Fluoridmengen freigesetzt. Es ist ersichtlich, daß die Fluoridabgabe hier deutlich höher ist als bei den Proben, welche nicht fluoridiert wurden. Es ist jedoch auch zu ersehen, daß die Fluoridabgabe der Initialphase bei drei Materialien nicht wieder erreicht wird. Eine Ausnahme stellt hierbei das Hybridkomposit Degufill® mineral dar, welches aber grundsätzlich ein sehr geringes Fluoridabgabenniveau zeigt.

Die in Tabelle 3 ausgewiesene Differenz zusätzlicher Fluoridabgabe nach regelmäßiger Fluoridierung erlaubt eine Abschätzung, ob hieraus ein klinischer Effekt resultieren kann. Vergleicht man die bei den neuen Materialien nach dem „Wiederaufladen“ täglich zusätzlich freigesetzte Menge Fluorid, so ist diese mit durchschnittlich  $1,1 - 2,8 \mu\text{g}/\text{cm}^2$  Probenoberfläche als sehr gering einzustufen. Ein demineralisationshemmender Effekt dieser zusätzlichen Fluoridabgabe, aber auch der langfristigen Abgabe aus den Füllungsmaterialien ohne regelmäßige Fluoridapplikation, erscheint unwahrscheinlich. Dies gilt insbesondere angesichts der Überlegung, daß zur regelmäßigen Fluoridierung als Simulation täglichen Zähneputzens mit fluoridhaltiger Zahnpaste eine 1250 ppm-Fluoridlösung verwendet wurde. Der bekannte karieshemmende Effekt dieser Fluoridapplikation dürfte um ein Vielfaches höher sein als der Effekt der Fluoridabgabe aus den Füllungsmaterialien. Auch im Sinne einer Fluoridspeicherung kann die Aufnahme und Abgabe von Fluorid in die Füllungsmaterialien nicht überzeugen, da die Erzeugung der Kalziumfluorid-Deckschicht auf der Zahnoberfläche bereits diesen Effekt hat. Allenfalls in Situationen mit Randspalten könnte eine direkte kontinuierliche Fluoridfreisetzung von Vorteil sein. Ob die untersuchten Füllungsmaterialien hierzu in der Lage sind bleibt in weiteren Studien darzustellen.

Gegenteiliger Meinung sind, soweit es Glasionomerezement-Füllungen betrifft, *Damen et al. (1996)*. Sie zeigten auf, daß alte Glasionomerfüllungen im Stande sind, nachdem sie mit einer Natriumfluorid-Lösung „aufgeladen“ wurden, dieses Fluorid für eine kurze Periode wieder an die Umgebung abzugeben.

Die Autoren meinen, daß durch regelmäßige Fluoridapplikation bei alten Glasionomerfüllungen eine zusätzliche kariesprophylaktische Wirkung zu erreichen sei.

Auch antibakterielle Effekte der geringen aus den neuen Materialien freigesetzten Fluoridmengen sind unwahrscheinlich. Vom Glasionomerzement sind Bakterienstoffwechsel-hemmende Effekte bekannt. *Koch und Hatibovic-Kofman (1990)* stellten in einer In-vivo-Studie fest, daß die Verbreitung von *Streptococcus mutans* im Speichel abnahm, nachdem Glasionomerzement-Füllungen gelegt wurden. Dabei stieg die Fluoridkonzentration im Speichel sofort auf 0,8 ppm bis 1,2 ppm an. *Friedl et al. (1997)* zeigten, daß mit zunehmend geringer werdender Fluoridfreisetzung aus lichthärtenden Glasionomerzementen das bakterielle Wachstum von *Streptococcus mutans* anstieg. In Analogie zu der zitierten Studie kann für die in der vorliegenden Arbeit untersuchten Materialien, welche den konventionellen Glasionomerzementen weniger ähneln als der von *Friedl et al. (1997)* untersuchte lichthärtende Glasionomerzement, gefolgert werden, daß sie das Bakterienwachstum von *Streptococcus mutans* allenfalls geringfügig hemmen. *Forss et al. (1995)* stellten zudem in einer Studie über die Fluoridabgabe bei 3 Jahre alten Glasionomerfüllungen fest, daß keine signifikanten Effekte auf die kariesassoziierte Mikroflora erreicht wurden. Auch nach lokaler Fluoridapplikation auf diese Füllungen war keine signifikante Erhöhung der Fluoridkonzentration in der aufliegenden Plaque zu erreichen.

Die Ergebnisse der vorliegenden In-vitro-Studie bestätigen die Kenntnis über Fluoridabgabe und –wiederaufnahme von Glasionomerzementen und Kompomeren. Sie zeigen neue Kenntnisse über die Fluoridabgabe und -wiederaufnahme von Kompositen und belegen, daß für die Hemmung von Karies und Sekundärkaries bei den überprüften Materialien unterschiedliche Effekte zu erwarten sind. Insbesondere belegen die hier vorliegenden Daten ein nur relativ geringes Fluoridabgabepotential der Hybridkomposite und des Kompomers und lassen eine klinische Relevanz des „Refill Effect“ dieser Materialien fraglich erscheinen. Es bleibt in weiteren Studien nachzuweisen, inwieweit das Verhalten der Materialien bezüglich Fluoridabgabe und –wiederaufladungsvermögen unter anderen experimentellen Parametern klinische Relevanz andeuten kann.

## **6. Zusammenfassung**

Ziel der vorliegenden Studie war es, unter In-vitro Bedingungen die Fluoridfreisetzung aus zwei Hybridkompositen zu überprüfen und mit der Fluoridabgabe aus einem Polyalkensäure-modifizierten Komposit und einem Glasionomerkement zu vergleichen. Zugleich wurde untersucht, wie sich die Fluoridfreisetzung unter dem Einfluß regelmäßiger lokaler Applikation einer Fluoridlösung mit einer Fluoridkonzentration, welcher der mittleren Konzentration in Zahnpasten entspricht, verhält.

Aus dem Glasionomerkement Ketac-Fil® und dem Kompomer Hytac® sowie den Komposit-Materialien Degufill® mineral und Solitaire® wurden jeweils 12 standardisierte Füllungen in Teflonscheiben gelegt. Die Probekörper wurden nach dem Aushärten unter leichter Schüttelbewegung bei 37<sup>0</sup>C in jeweils 2,5 ml Aqua bidest. gelagert. Alle 24 Stunden wurden die Probekörper in frisches Aqua bidest. umgelagert. Bei dieser Gelegenheit wurde die Hälfte der mit den jeweiligen Materialien hergestellten Proben 3 Minuten lang in einer 1250 ppm-Natriumfluorid-Lösung fluoridiert. Mit Hilfe der ionensensitiven Fluoridelektrode wurde der Fluoridgehalt im Lagermedium ermittelt.

Die Messungen des innerhalb von 24 Stunden freigesetzten Fluorids erfolgte nur zu bestimmten Tagen. Die Messungen erfolgten am 1. Tag, 2. Tag, 4. Tag, 8. Tag, 14. Tag, 21. Tag und am 28. Tag nach der Aushärtung. Die freigesetzte Fluoridmenge wurde auf die freie Oberfläche der Probekörper bezogen und als  $\mu\text{g}/\text{cm}^2$  bestimmt.

Aus allen Materialien wurde Fluorid abgegeben, allerdings in stark differierenden Mengen. Alle Materialien wiesen dabei in den ersten 24 Stunden eine erhöhte Fluoridabgabe auf. Die Fluoridexposition hatte bei allen Materialien eine vermehrte Wiederabgabe von Fluorid zur Folge. Auch hierbei unterschieden sich die zusätzlich freigesetzten Fluoridmengen erheblich.

Der Glasionomerzement Ketac-Fil® zeigte sowohl mit als auch ohne lokale Fluoridapplikation zu jedem Zeitpunkt die höchste Fluoridabgabe. Zudem lag bei Ketac-Fil® die tägliche Fluoridabgabe der regelmäßig fluoridierten Füllungen deutlich über derjenigen der nichtfluoridierten Kontrollen.

Das Polyalkensäure-modifizierte Komposit und die Hyridkomposite setzten nach Fluoridexposition nur wenig zusätzliches Fluorid frei. Bei den so behandelten Kompositproben war die zusätzliche Abgabe von Fluorid mit  $1,1 - 2,8 \mu\text{g}/\text{cm}^2$  Probenoberfläche so gering, daß eine Fluorid-„Wiederaufladung“ allenfalls ansatzweise zu erkennen ist.

Mögliche Auswirkungen von Plaque und Pellikel wurden durch die Versuchsanordnung nicht erfaßt, so daß die Mengen umgesetzten Fluorids In-vivo geringer sein können. Andererseits geben Kompomere und Glasionomerzemente im sauren Milieu mehr Fluorid ab als im neutralen Bereich. Entsprechend können möglicherweise auch aus fluoridhaltigen Kompositen im sauren Milieu, welches bei der Verstoffwechslung von Kohlenhydraten in Plaque vorkommt, höhere Mengen Fluorid freigesetzt werden. Weitere Untersuchungen unter entsprechenden Bedingungen können hierüber Aufschluß geben.

Die vorliegenden Ergebnisse bestätigen und vertiefen die Kenntnisse über Fluoridabgabe und Fluoridwiederaufnahme von Glasionomerzementen und von Glasionomer-modifizierten Füllungsmaterialien. Glasionomerzemente können dank ihres Fluoridumsatzes am Füllungsrand der Sekundärkaries-Prophylaxe dienen. Für die Hybridkomposite hingegen scheint ein derartiger Effekt allenfalls von kurzfristiger, untergeordneter Bedeutung zu sein.

Somit bleibt nachzuweisen, ob aus den z.T. sehr niedrigen freigesetzten Fluoridmengen ein klinischer Effekt resultiert. Die hier vorgelegten Daten belegen ein nur relativ geringes Fluoridabgabe-Potential von Hybridkompositen und lassen eine klinische Relevanz der Fluorid-Wiederaufladung dieser Materialien fraglich erscheinen.

## **7. Literaturverzeichnis**

*Atkinson, A. S., Pearson, G. J.:* The evolution of glass-ionomer cements. *Br Dent J* 159 335-337 (1985)

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

*Barnes, D.M., Blank, L.W., Gingel, J.C., Gilner, G.G.:* A clinical evaluation of a resin-modified glass ionomer restorative material. *J Am Dent Assoc* 126, 1245-1253 (1995)

*Benelli, E.M., Serra, M.C., Rodrigues Jr., A.L., Cury, J.A.:* In situ anticariogenic potential of glass ionomer cement. *Caries Res* 27, 280-284 (1993)

*Borutta, A., Künzel, W., Micheelis, W., Müller, P.J.:* Dringliche Mundgesundheitsprobleme der Bevölkerung im vereinten Deutschland. Institut der Deutschen Zahnärzte, Köln 1991, S. 16-23

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

*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)

*Dijkman, G. E. H. M., Arends, J.:* Secondary caries in situ around fluoride-releasing light-cured composites: A quantitative model investigation on four materials with a 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 demineralisation data. *Caries Res* 27, 117-123 (1993)

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

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

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

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

*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 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., 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)

*Geschwandtner, M.:* Untersuchung zur Abhängigkeit der Fluoridaufnahme des Zahnschmelzes aus Fluoridlacken nach unterschiedlicher Säuberung der Zähne. Zahnmed Diss, Marburg 1992

*Glasspoole, E.A., Erickson, R.L.:* In vitro investigation of the caries inhibition effects of fluoride releasing materials. J Dent Res 72, 284 (1993)

*Glockmann, E., Geroldt, C., Triemer, K.:* Freisetzung von Fluorid aus unterschiedlichen Glasionomercementen. Dtsch Zahnärztl Z 52, 668 (1997)

*Grützner, A., Pflug, K.P.:* Neue Möglichkeiten mit Kompomeren der 2. Generation. Magazin für Zahnheilkd, Management und Kultur 6, 366-371 (1999)

*Gülzow, H.-J.:* Präventive Zahnheilkunde. Carl Hanser, München 1995, S. 33-53 und S. 117-120

*Gülzow, H.-J., Farshi, H.:* Die Zahngesundheit Hamburger Kindergartenkinder 1977-1998. Dtsch Zahnärztl Z 55, 770-773 (2000)

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

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

*Hellwig, E., Klimek, J., Attin, T.:* Einführung in die Zahnerhaltung. Urban&Schwarzenberg, München 1995, S. 26-164

*Heraeus Kulzer: Solitaire. Der Schrumpf in der Kavität. Ursache und Wirkung. Dormagen (1998)*

*Hildebrand, H.C., Schriever, A. Heidemann, D.: Randverhalten von zervikalen Füllungen mit Ketac-Fil® und Dyract® an permanentes und decidui in-vitro. Dtsch Zahnärztl Z 50, 787-789 (1995)*

*Hotz, P.: Anwendung der Fluoride in der Zahnheilkunde. Schweiz Monatsschr Zahnmed 106, 1145-1146, (1996)*

*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)*

*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)*

*König, K. G.: Karies und Parodontopathien, Ätiologie und Prophylaxe. Georg Thieme, Stuttgart 1987*

*Krämer, M.: Moderne Füllungstherapie in Milch- und Wechselgebiß. Dtsch Zahnärztl Z 52, 89-98 (1997)*

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

*Lutz, F., Suhonen, J., Imfeld, T., Curiovic, Z.: Prävention der Fissurenkaries. Schweiz Monatssche Zahnmed 100, 446-451 (1990)*

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

*Meißner, C.:* Differenzierter Einsatz von Glasionomerzementen und Komposites als Alternative zum Amalgam. *Dental Magazin* 3, 1-2 (1994)

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

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

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

*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 benötigt wird. *Niedersächsisches Zahnärztebl* 10, 784-786 (1997)

*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)

*Rosin, M., Rentsch, H.:* Eine präventiv orientierte Füllungstherapie. *Zahnärztl Mitt* 20, 37-41 (1997)

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

*Saito, S., Tosaki, S., Hirota, K.:* Characteristics of glass-ionomer cements. In: Davidson, C. L., Mjör, I. A.(eds): Advances in glass-ionomer cements. Quintessence, Chicago 1999, S. 15-50

*Schiffner, U., Reich, E.:* Prävalenzen zu ausgewählten klinischen Variablen bei Jugendlichen: Karies/Füllungen. In: *Micheelis, W., Reich, E.* (Hrsg.): Deutsche Mundgesundheits-Studie III. Dtsch Ärzte-Verlag, Köln 1999, S. 201-230

*Schmalz, G.:* Der Einfluß verschiedener Frontzahnfüllungsmaterialien auf das In-vitro-Wachstum von Streptococcus mutans. Dtsch Zahnärztl Z 32, 575-579 (1977)

*Schmidt, H.F.M.:* Untersuchungen über die Beeinflußbarkeit des Säurebildungsvermögens an der Basisfläche menschlicher Zahnplaques durch Natriumfluorid. Dtsch Zahnärztl 28, 855-861 (1973)

*Schmidt, H.F.M.:* Kariesprophylaktische Versuche mit Wasserstoffperoxid, Harnstoff und Natriumfluorid. Dtsch Zahnärztl Z 29, 788-790 (1974)

*Schroeder, H.E.:* Orale Strukturbiologie. 4. Auflage. Thieme, Stuttgart 1992, S. 170-183

*Schroeder, H.E.:* Pathobiologie oraler Strukturen. 3. Auflage, Karger, Basel 1997, S. 79

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

*Shaw, A.J., Carrick, T., McCabe, J.F.:* Fluoride release from glass-ionomer and compomer restorative materials: J Dent 26, 355-359 (1998)

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

*Staudt-Hockmann, C.:* Kariesprotektion ohne Mehraufwand. Dental Magazin 1, 24-25 (1997)

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

*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)

*Tantbirojn, D., Douglas, W.H., Versluis, A.:* Inhibitive effect of a resin-modified glass-ionomer cement on remote enamel artificial caries. Caries Res 31, 275-280 (1997)

*ten Cate, J.M., van Duinen, R.N.B.:* Hypermineralization of dentinal lesions adjacent to glass-ionomer cement restorations. J Dent Res 74, 1266-1271 (1995)

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

*Twetman, S., McWilliam, J.S., Hallgren, A., Oliveby, A.:* Cariostatic effect of glassionomer retained orthodontic appliances. Swed Dent J 21, 169-175 (1997)

*Ulukapi, H., Benderli, Y., Soyman, M.:* Determination of fluoride release from light-cured glass-ionomers and a fluoridated composite resin from the viewpoint of curing time. J Oral Rehab 23, 197-201 (1996)

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

*Walls, A. W. G.:* Glass polyalkenoate (glass-ionomer) cements: a review. *J Dent* 14, 231-246 (1986)

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

*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

Abbildung 1 : Eichkurve

Tabelle 1 : Einzelmeßwerte Ketac-fil®

Tabelle 2 : Einzelmeßwerte Hytac®

Tabelle 3 : Einzelmeßwerte Degufil® mineral

Tabelle 4 : Einzelmeßwerte Solitaire®

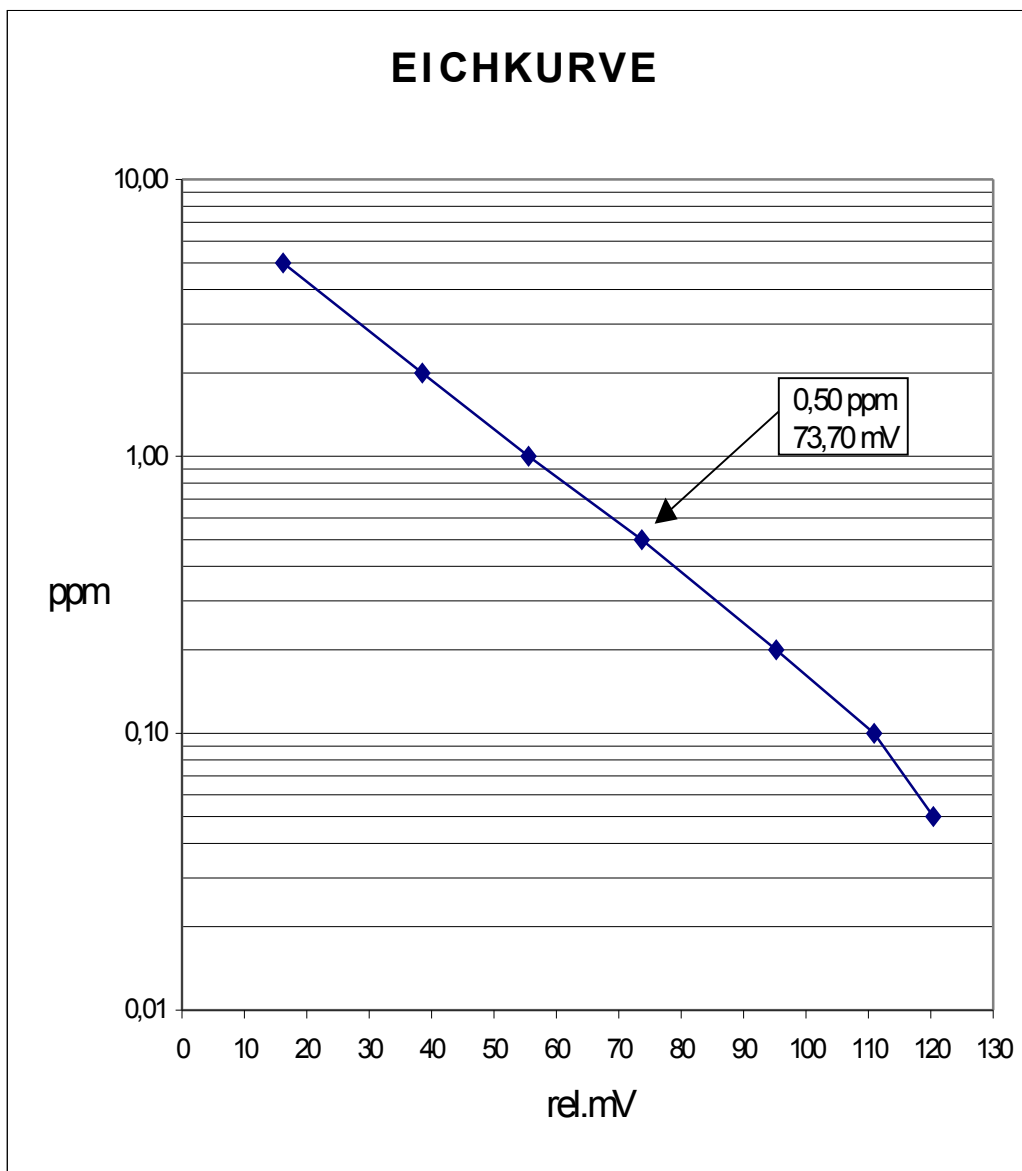


Abb 1: Eichkurve



Ketac-FIL	1. Tag			2. Tag			4. Tag			8. Tag		
	Proben-Nr:	Rel. Mv	ppm Fluorid	µg/cm²	Rel. Mv	ppm Fluorid	µg/cm²	Rel. Mv	ppm Fluorid	µg/cm²	Rel. Mv	ppm Fluorid
37 mit Fluorid	35,000	2,340	46,426	50,100	1,270	25,197	44,700	1,600	31,744	49,100	1,350	26,784
38	16,400	4,850	96,224	39,900	1,920	38,093	42,600	1,720	34,125	51,200	1,230	24,403
39	14,800	5,200	103,168	39,300	1,980	39,283	36,900	2,160	42,854	44,900	1,580	31,347
40	15,400	5,020	99,597	33,100	2,500	49,600	41,200	1,820	36,109	39,600	1,940	38,490
41	22,100	3,900	77,376	35,000	2,320	46,029	46,000	1,500	29,760	39,700	1,930	38,291
42	9,300	6,400	126,976	30,000	2,820	55,949	33,200	2,500	49,600	45,800	1,500	29,760
<b>Mittelwert</b>		<b>4,62</b>	<b>91,63</b>		<b>2,14</b>	<b>42,36</b>		<b>1,88</b>	<b>37,37</b>		<b>1,59</b>	<b>31,51</b>
43 ohne Fluorid	33,500	2,500	49,600	52,500	1,180	23,411	79,400	0,400	7,936	68,300	0,630	12,499
44	12,500	5,620	111,501	37,000	2,150	42,656	63,100	0,736	14,602	67,400	0,650	12,896
45	10,200	5,800	115,072	41,600	1,800	35,712	50,400	1,280	25,395	59,300	0,800	15,872
46	23,100	3,700	73,408	53,700	1,120	22,221	64,800	0,780	15,475	70,900	0,570	11,309
47	16,600	4,800	95,232	50,700	1,260	24,998	66,000	0,680	13,491	74,400	0,490	9,722
48	27,600	3,120	61,901	59,200	0,900	17,856	64,200	0,740	14,682	68,700	0,590	11,706
<b>Mittelwert</b>		<b>4,26</b>	<b>84,45</b>		<b>1,40</b>	<b>27,81</b>		<b>0,77</b>	<b>15,26</b>		<b>0,62</b>	<b>12,33</b>

Tabelle 1: Einzelmeßwerte Ketac-Fil

Ketac-FIL	14. Tag			21. Tag			28. Tag		
	Rel. Mv	ppm Fluorid	µg/cm²	Rel. Mv	ppm Fluorid	µg/cm²	Rel. Mv	ppm Fluorid	µg/cm²
37 mit Fluorid	63,000	0,760	15,078	46,400	1,500	29,760	64,100	0,740	14,682
38	48,300	1,390	27,578	55,300	1,050	20,832	57,800	0,940	18,650
39	61,900	1,790	35,514	51,200	1,220	24,205	50,800	1,220	24,205
40	65,400	0,700	13,888	49,000	1,350	26,784	68,100	0,640	12,698
41	66,400	0,670	13,293	55,500	1,040	20,634	59,400	0,890	17,658
42	40,800	1,850	36,704	50,300	1,280	25,395	45,500	1,550	30,752
<b>Mittelwert</b>		<b>1,19</b>	<b>23,68</b>		<b>1,24</b>	<b>24,60</b>		<b>1,00</b>	<b>19,77</b>
43 ohne Fluorid	90,600	0,297	5,892	89,600	0,260	5,158	91,700	0,238	4,722
44	69,300	0,600	11,904	81,500	0,365	7,242	82,400	0,350	6,944
45	84,100	0,330	6,547	80,600	0,380	7,539	94,100	0,210	4,166
46	94,600	0,210	4,166	95,600	0,200	3,968	99,900	0,160	3,174
47	91,800	0,230	4,563	89,800	0,258	5,119	96,400	0,190	3,770
48	87,800	0,280	5,555	97,000	0,182	3,611	100,800	0,152	3,016
<b>Mittelwert</b>		<b>0,32</b>	<b>6,44</b>		<b>0,27</b>	<b>5,44</b>		<b>0,22</b>	<b>4,30</b>

Tabelle 1: Einzelmeßwerte Ketac-Fil

Hytac	1. Tag			2. Tag			4. Tag			8. Tag		
Proben-Nr:	Rel. Mv	ppm Fluorid	µg/cm²	Rel. Mv	ppm Fluorid	µg/cm²	Rel. Mv	ppm Fluorid	µg/cm²	Rel. Mv	ppm Fluorid	µg/cm²
25 mit Fluorid	59,900	0,880	17,459	73,400	0,550	10,912	76,500	0,450	8,924	82,000	0,360	7,142
26	62,800	0,780	15,475	81,500	0,365	7,242	78,300	0,400	7,936	85,000	0,315	6,250
27	71,400	0,560	11,110	76,000	0,462	9,158	87,600	0,258	5,126	84,800	0,320	6,349
28	68,700	0,610	12,102	74,500	0,482	9,555	86,800	0,278	5,523	91,600	0,238	4,722
29	68,900	0,600	11,904	89,000	0,270	5,357	78,700	0,395	7,837	95,800	0,198	3,928
30	74,500	0,480	9,523	87,800	0,280	5,555	78,000	0,410	8,134	92,600	0,226	4,484
<b>Mittelwert</b>		<b>0,65</b>	<b>12,93</b>		<b>0,40</b>	<b>7,96</b>		<b>0,37</b>	<b>7,25</b>		<b>0,28</b>	<b>5,48</b>
31 ohne Fluorid	66,300	0,680	13,491	92,800	0,220	4,365	92,400	0,230	4,563	103,100	0,138	2,738
32	58,100	0,990	19,642	82,100	0,360	7,142	84,900	0,317	6,289	99,800	0,160	3,174
33	57,300	0,980	19,443	75,400	0,470	9,325	89,600	0,260	5,158	98,400	0,172	3,412
34	70,600	0,570	11,309	86,500	0,295	5,853	101,800	0,145	2,877	107,800	0,150	2,976
35	71,300	0,560	11,110	78,100	0,420	8,333	99,400	0,163	3,234	105,700	0,120	2,381
36	74,000	0,490	9,722	85,000	0,315	6,250	105,100	0,122	2,420	106,700	0,113	2,242
<b>Mittelwert</b>		<b>0,71</b>	<b>14,12</b>		<b>0,35</b>	<b>6,88</b>		<b>0,21</b>	<b>4,09</b>		<b>0,14</b>	<b>2,82</b>

Tabelle 2: Einzelmeßwerte Hytac

Hytac	14. Tag			21. Tag			28. Tag		
Proben-Nr:	Rel. Mv	ppm Fluorid	µg/cm²	Rel. Mv	ppm Fluorid	µg/cm²	Rel. Mv	ppm Fluorid	µg/cm²
25 mit Fluorid	69,200	0,600	11,904	80,400	0,338	6,700	91,100	0,240	4,762
26	91,700	0,236	4,682	86,600	0,292	5,793	89,300	0,262	5,198
27	97,900	0,175	3,472	84,000	0,330	6,547	90,000	0,252	5,000
28	104,600	0,122	2,420	87,600	0,269	5,333	98,100	0,175	3,472
29	108,500	0,120	2,381	92,300	0,229	4,547	103,600	0,132	2,619
30	106,800	0,112	2,222	93,200	0,214	4,250	100,900	0,152	3,016
Mittelwert		0,23	4,51		0,28	5,53		0,20	4,01
31 ohne Fluorid	119,900	0,050	0,992	110,200	0,094	1,865	114,100	0,075	1,488
32	116,500	0,064	1,270	110,600	0,092	1,825	113,300	0,078	1,548
33	116,600	0,063	1,250	108,900	0,100	1,984	115,800	0,066	1,309
34	123,100	0,039	0,774	114,900	0,070	1,389	116,900	0,062	1,230
35	120,400	0,049	0,972	110,400	0,091	1,805	115,300	0,068	1,349
36	119,300	0,052	1,032	112,000	0,145	2,877	117,800	0,058	1,151
Mittelwert		0,05	1,05		0,10	1,96		0,07	1,35

Tabelle 2: Einzelmeßwerte Hytac

Degufill mineral	1. Tag			2. Tag			4. Tag			8. Tag		
	Rel. Mv	ppm Fluorid	µg/cm²	Rel. Mv	ppm Fluorid	µg/cm²	Rel. Mv	ppm Fluorid	µg/cm²	Rel. Mv	ppm Fluorid	µg/cm²
13 mit Fluorid	116,600	0,064	1,270	119,900	0,051	1,012	92,500	0,228	4,531	114,300	0,128	2,540
14	115,700	0,068	1,349	115,800	0,067	1,329	113,900	0,076	1,508	119,100	0,054	1,071
15	118,200	0,058	1,151	120,400	0,049	0,972	115,600	0,068	1,349	119,000	0,055	1,091
16	114,300	0,074	1,468	114,500	0,073	1,448	111,600	0,086	1,706	115,300	0,069	1,369
17	118,300	0,058	1,151	121,300	0,045	0,893	115,700	0,068	1,349	115,800	0,054	1,071
18	114,400	0,074	1,468	123,900	0,036	0,714	94,500	0,208	4,134	124,200	0,034	0,675
Mittelwert		0,07	1,31		0,05	1,06		0,12	2,43		0,07	1,30
19 ohne Fluorid	115,200	0,070	1,389	125,200	0,032	0,635	125,000	0,032	0,635	133,600	0,000	0,000
20	115,600	0,068	1,349	132,000	0,000	0,000	130,400	0,000	0,000	135,700	0,000	0,000
21	120,600	0,048	0,952	131,500	0,000	0,000	132,500	0,000	0,000	137,600	0,000	0,000
22	107,400	0,110	2,182	115,800	0,066	1,309	132,000	0,000	0,000	138,600	0,000	0,000
23	110,200	0,094	1,865	121,300	0,046	0,913	133,600	0,000	0,000	138,200	0,000	0,000
24	112,300	0,082	1,627	127,900	0,022	0,436	132,400	0,000	0,000	138,700	0,000	0,000
Mittelwert		0,08	1,56		0,03	0,55		0,01	0,11		0,00	0,00

Tabelle 3: Einzelmeßwerte Degufill mineral

Degufill mineral	14. Tag			21. Tag			28. Tag		
Proben-Nr:	Rel. Mv	ppm Fluorid	µg/cm²	Rel. Mv	ppm Fluorid	µg/cm²	Rel. Mv	ppm Fluorid	µg/cm²
13 mit Fluorid	107,000	0,112	2,222	108,200	0,105	2,083	117,000	0,062	1,236
14	106,200	0,118	2,341	108,500	0,101	2,008	111,900	0,084	1,667
15	108,000	0,104	2,067	101,400	0,150	2,976	125,200	0,032	0,635
16	102,100	0,145	2,877	108,500	0,139	2,762	122,900	0,039	0,774
17	105,200	0,123	2,440	102,500	0,140	2,778	122,500	0,045	0,900
18	111,400	0,088	1,746	108,300	0,129	2,563	120,000	0,050	1,000
Mittelwert		0,12	2,28		0,13	2,53		0,05	1,04
19 ohne Fluorid	124,500	0,034	0,675	118,000	0,058	1,151	0,000	0,054	1,071
20	130,000	0,000	0,000	118,800	0,055	1,091	0,000	0,046	0,913
21	132,300	0,000	0,000	122,000	0,042	0,833	0,000	0,044	0,873
22	134,000	0,000	0,000	124,000	0,036	0,714	0,000	0,036	0,714
23	133,600	0,000	0,000	117,000	0,061	1,210	0,000	0,028	0,556
24	135,300	0,000	0,000	123,700	0,037	0,734	0,000	0,036	0,714
Mittelwert		0,01	0,11		0,05	0,96		0,04	0,81

Tabelle 3: Einzelmeßwerte Degufill mineral

Solitaire	1. Tag			2. Tag			4. Tag			8. Tag		
	Rel. Mv	ppm Fluorid	µg/cm²	Rel. Mv	ppm Fluorid	µg/cm²	Rel. Mv	ppm Fluorid	µg/cm²	Rel. Mv	ppm Fluorid	µg/cm²
1 mit Fluorid	43,300	1,670	33,133	87,900	0,280	5,555	99,000	0,165	3,274	105,300	0,122	2,420
2	64,600	0,710	14,086	97,700	0,180	3,571	97,000	0,185	3,670	103,400	0,135	2,678
3	73,800	0,500	9,920	89,300	0,260	5,158	94,700	0,270	5,357	98,000	0,265	5,258
4	54,800	1,000	19,840	77,200	0,450	8,928	96,500	0,188	3,730	98,600	0,162	3,214
5	49,600	1,300	25,792	90,000	0,250	4,960	92,800	0,220	4,365	99,800	0,161	3,194
6	47,000	1,450	28,768	83,500	0,340	6,746	91,700	0,285	5,654	100,100	0,160	3,174
Mittelwert		1,11	21,92		0,29	5,82		0,22	4,34		0,17	3,32
7 ohne Fluorid	56,100	1,020	20,237	103,900	0,130	2,579	108,000	0,100	1,984	114,600	0,072	1,428
8	52,700	1,170	23,213	87,100	0,290	5,754	95,800	0,195	3,869	110,200	0,094	1,865
9	60,100	0,860	17,062	82,700	0,340	6,746	91,100	0,240	4,762	108,200	0,105	2,083
10	53,900	0,910	18,054	74,900	0,475	9,424	77,400	0,480	9,523	98,900	0,162	3,214
11	59,700	0,880	17,459	88,200	0,280	5,555	95,400	0,200	3,968	109,600	0,098	1,944
12	55,000	1,060	21,030	81,100	0,370	7,341	93,200	0,220	4,365	109,100	0,100	1,984
Mittelwert		0,98	19,51		0,31	6,23		0,24	4,75		0,11	2,09

Tabelle 4: Einzelmeßwerte Solitaire

Solitaire	14. Tag			21. Tag			28. Tag		
	Rel. Mv	ppm Fluorid	µg/cm²	Rel. Mv	ppm Fluorid	µg/cm²	Rel. Mv	ppm Fluorid	µg/cm²
<b>Proben-Nr:</b>									
<b>1 mit Fluorid</b>	83,900	0,330	<b>6,547</b>	93,700	0,215	<b>4,266</b>	99,100	0,169	<b>3,353</b>
<b>2</b>	94,100	0,212	<b>4,206</b>	96,100	0,192	<b>3,809</b>	103,300	0,137	<b>2,718</b>
<b>3</b>	97,600	0,180	<b>3,571</b>	105,500	0,120	<b>2,381</b>	108,300	0,103	<b>2,044</b>
<b>4</b>	96,500	0,190	<b>3,770</b>	100,300	0,157	<b>3,115</b>	107,200	0,112	<b>2,222</b>
<b>5</b>	92,700	0,225	<b>4,464</b>	88,200	0,276	<b>5,476</b>	109,300	0,100	<b>1,984</b>
<b>6</b>	95,100	0,210	<b>4,166</b>	100,100	0,160	<b>3,174</b>	110,600	0,092	<b>1,825</b>
<b>Mittelwert</b>		<b>0,22</b>	<b>4,45</b>		<b>0,19</b>	<b>3,70</b>		<b>0,12</b>	<b>2,36</b>
<b>7 ohne Fluorid</b>	113,300	0,078	<b>1,548</b>	119,100	0,050	<b>0,992</b>	123,100	0,040	<b>0,794</b>
<b>8</b>	111,100	0,151	<b>2,996</b>	119,400	0,052	<b>1,032</b>	122,700	0,042	<b>0,833</b>
<b>9</b>	106,000	0,118	<b>2,341</b>	119,000	0,053	<b>1,052</b>	122,700	0,042	<b>0,833</b>
<b>10</b>	95,000	0,210	<b>4,166</b>	118,200	0,056	<b>1,111</b>	123,300	0,039	<b>0,774</b>
<b>11</b>	105,800	0,118	<b>2,341</b>	119,200	0,052	<b>1,032</b>	125,100	0,032	<b>0,635</b>
<b>12</b>	109,700	0,098	<b>1,944</b>	123,200	0,039	<b>0,774</b>	125,300	0,031	<b>0,615</b>
<b>Mittelwert</b>		<b>0,13</b>	<b>2,56</b>		<b>0,05</b>	<b>1,00</b>		<b>0,04</b>	<b>0,75</b>

Tabelle 4: Einzelmeßwerte Solitaire



## **DANKSAGUNG**

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

Mein Dank gilt Prof. Dr. U. Schiffner für die Überlassung des Themas und für seine Hilfestellung bei allen anstehenden Fragen sowie bei der Durchführung der Versuche.

Wertvolle Unterstützung während der Versuchsreihe erhielt ich von Fr. Schwope, bei der ich mich ebenfalls bedanke.

Bei meinem Mann Jens möchte ich mich für die Unterstützung und Hilfe am Computer an dieser Stelle herzlich bedanken.

## LEBENS LAUF

Vor- und Nachname: Uta von Bröckel

Geburtsdatum: 22. Juli 1966

Geburtsort: Bremerhaven

Staatsangehörigkeit: deutsch

Familienstand: verheiratet

### Werdegang

1973 - 1977	Grundschule Gaußschule in Bremerhaven
1977 - 1979	Orientierungsstufe Gaußschule in Bremerhaven
1979 - 1983	Gymnasium Lessingschule in Bremerhaven
1983 - 1986	Abitur am Schulzentrum "Bürgermeister-Schmidt" -Bremerhaven
1986 - 1987	Praktikum – Dentallabor "Stolle" in Bremerhaven
1987 - 1991	3½ jährige Ausbildung zur Zahntechnikerin
1991 - 1994	Berufstätig als Zahntechnikerin – Bereich "Edelmetall"

### Studium

1994-1999	Studium der Zahnmedizin am Universitätsklinikum Hamburg-Eppendorf
SS 1995	Naturwissenschaftliche Vorprüfung
SS 1997	Zahnärztliche Vorprüfung
17. Dez. 1999	Approbation als Zahnärztin

## **ERKLÄRUNG**

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

Reinbek, den 14.02.2001

Uta von Bröckel