



Universitätsklinikum  
Hamburg-Eppendorf

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

**Der Einfluss von Bleichanwendungen auf die  
Randdichtigkeit von Kompositfüllungen –  
Eine In-vitro-Studie mit thermozyklischer  
künstlicher Alterung**

Dissertation  
zur Erlangung des Grades eines Doktors der Zahnmedizin  
der medizinischen Fakultät der Universität Hamburg vorgelegt von

Pia Wunderlich  
aus Buchholz in der Nordheide

Hamburg 2010

Angenommen von der medizinischen Fakultät  
der Universität Hamburg am: **01.06.2010**

Veröffentlicht mit Genehmigung der medizinischen  
Fakultät der Universität Hamburg

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

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

Prüfungsausschuss 3. Gutachter/in: **PD Dr. P. Schmäge**

# Inhalt

	Seite
<b>1. Einleitung und Fragestellung</b>	<b>1</b>
<b>2. Literatur</b>	<b>4</b>
2.1 Historie der Bleichtherapie	4
2.2 Ursachen von Zahnverfärbungen	5
2.2.1 Exogene Verfärbungen	5
2.2.2 Endogene Verfärbungen	6
2.2.2.1 Lokalisierte Zahnverfärbungen	6
2.2.2.2 Generalisierte Zahnverfärbungen	7
2.3 Chemischer Mechanismus des Bleichens	8
2.4 Methoden zum Bleichen verfärbter Zähne	10
2.4.1 Bleichen vitaler Zähne	10
2.4.1.1 Home Bleaching	10
2.4.1.2 Chairside-Bleaching	11
2.4.1.3 In-office Bleaching	12
2.4.1.4 Over-the-Counter-Produkte (OTC-Produkte)	12
2.4.1.5 Mikroabrasion	12
2.4.2 Bleichen avitaler Zähne	13
2.4.2.1 Walking-Bleach-Technik	13
2.4.2.2 Thermokatalytische Methode	13
2.5 Farbeffekt und -stabilität	14
2.5.1 Farbeffekt	14
2.5.2 Farbstabilität	14
2.6 Einfluss auf das Zahnhartgewebe	15
2.6.1 Änderung der Oberflächenstruktur und Mikrohärtigkeit	16
2.6.2 Fraktur- und Kariesanfälligkeit	17
2.7 Einfluss auf das Weichgewebe	17
2.7.1 Zell- und Gingivairritationen	18
2.7.2 Reaktionen der Pulpa	18

2.8	Einfluss auf Kompositrestaurationen	19
2.8.1	Mikrohärte von Kompositrestaurationen	20
2.8.2	Farbreaktionen von Kompositfüllungen	20
2.8.3	Oberflächenrauigkeit von Kompositfüllungen und Anheftung von Speichel und Bakterien	21
2.8.4	Randdichtigkeit von Kompositrestaurationen	21
2.8.5	Schmelz- und Dentinhaftung	23
2.9	Nebenwirkungen, Komplikationen und Sicherheit	24
2.10	Einordnung der vorliegenden Fragestellung	27
<b>3.</b>	<b>Material und Methoden</b>	<b>28</b>
3.1	Vorbereitung der extrahierten Zähne, Präparation und Kompositapplikation	28
3.2	Versuchsgruppen	30
3.3	Thermozyklische Wechselbelastung	31
3.4	Bleichen	31
3.5	Fixierung	32
3.6	Farbstoffpenetrationstest	32
3.7	Herstellung der Dünnschliffe	33
3.8	Auswertung der Farbstoffpenetrationsprobe	35
3.9	Statistische Auswertung	37
<b>4.</b>	<b>Ergebnisse</b>	<b>38</b>
4.1	Datenaufbereitung	39
4.2	Auswertung im Schmelz	42
4.3	Auswertung im Dentin	44
<b>5.</b>	<b>Diskussion</b>	<b>46</b>
5.1	Diskussion der Methodik	46
5.2	Diskussion der Ergebnisse	50
5.2.1	Farbstoffpenetration im Schmelz	50
5.2.2	Farbstoffpenetration im Dentin	51
5.2.3	Vergleich der Ergebnisse in Schmelz und Dentin	54
5.2.4	Schlussfolgerungen	56

<b>6. Zusammenfassung</b>	<b>58</b>
<b>7. Literaturverzeichnis</b>	<b>60</b>
<b>8. Anhang</b>	<b>68</b>
<b>9. Danksagung</b>	<b>72</b>
<b>10. Lebenslauf</b>	<b>73</b>
<b>11. Erklärung</b>	<b>74</b>

# 1 Einleitung und Fragestellung

„Der erste Eindruck zählt“ ist eine viel benutzte Redensart. Sie bezieht sich darauf, dass das äußere Erscheinungsbild eines Menschen meist das Erste ist, was registriert wird und zum ersten bleibenden Eindruck verarbeitet wird. So wurde von je her in allen Kulturen viel Wert auf das Äußere gelegt. Dies zeigt sich in unterschiedlichsten Trachten, Frisuren, Schmuck und anderen Bräuchen. So wird auch heute, mehr denn je, Wert auf das Aussehen gelegt. Mode zum Beispiel ist eine feste Größe in unserer Welt, und invasive Eingriffe zur Korrektur des Aussehens spielen eine immer größere Rolle. Eine gute Figur und ein gepflegtes Äußeres lassen auf Gesundheit und Wohlstand schließen.

Heutzutage sind auch die Zähne in den Fokus der kosmetischen Aufmerksamkeit gerückt. Die Medien präsentieren uns ein Idealbild von geraden, weißen und gesunden Zähnen. Da das Bestreben diesem Bild zu entsprechen immer mehr gewachsen ist, entsteht ein sich ständig vergrößernder Markt der ästhetischen Zahnmedizin. Hier gibt es etablierte Möglichkeiten wie Überkronungen und Veneers. Als nachteilig zeigt sich hierbei jedoch der Hartsubstanzverlust der Zähne. Eine viel genutzte Alternative bietet daher das Bleichen. Es eignet sich für einzelne verfärbte Zähne wie auch für die Aufhellung des gesamten Gebisses (ATTIN 2002). Da diese Behandlung im Verhältnis zu den Alternativen als schonend erscheint, hat sie auch der Einzelhandel entdeckt und bietet mehrere sogenannte Over-the-Counter-Produkte an, die ohne zahnmedizinische Begleitung direkt vom Anwender erworben und appliziert werden können (KUGEL 2003).

Gerade deshalb und aufgrund der großen Patientennachfrage hat sich auch die Wissenschaft mit dem Thema Bleichen befasst. Dabei gilt die Maxime, dass die ästhetischen Maßnahmen die Gesundheit und Funktionsfähigkeit des orofazialen Systems in keiner Weise gefährden dürfen.

Diverse Studien zu erwünschten Farbveränderungen, der Farbstabilität (AMATO et al. 2006, BRAUN et al. 2006, LEONARD et al. 2001), dem Einfluss von Bleichgelen auf die Zahnhartsubstanz (SULIEMAN et al. 2004,

PARK et al. 2004, BASTING et al. 2003, YEH et al. 2005) und das Weichgewebe (ZIEMBA et al. 2005, GOKAY et al. 2005), zu Risiken und Nebenwirkungen (AMATO et al. 2006, MUNRO et al. 2006) wurden veröffentlicht. Viele Arbeiten befassen sich auch mit dem Einfluss auf Füllungsmaterialien. Häufig beschrieben werden zum Beispiel die Veränderung der Mikrohärtigkeit von Füllungsmaterialien wie Amalgam, Zement und auch Komposit (MULDECI und GOKAY 2006, YAP und WATTANAPAYUNGKUL 2002). Auch der Widerstand gegen einwirkende Scherkräfte ist ein mehrfach untersuchtes Thema (DA SILVA et al. 2007, CAVALLI et al. 2001). Unter den verschiedenen Studien finden sich jedoch zum Teil sehr widersprüchliche Ergebnisse.

Weitere Untersuchungen haben auch die Auswirkung von Bleichprodukten auf den Randschluss von Kompositfüllungen zum Inhalt gehabt (BARKHORDAR et al. 1997, KLUKOWSKA et al. 2008, SHINOHARA et al. 2001 und CRIM 1992). Ein dichter Randschluss wird beim Legen von Kompositfüllungen durch die Maßnahmen der Adhäsivtechnik am Zahnschmelz und am Dentin erzielt. Für den langfristigen Erhalt der Füllung und die Verhinderung erneuter kariöser Läsionen ist ein perfekter Randschluss eine wichtige Voraussetzung, da bei fehlendem Randschluss zum einen Füllungsverlust droht, zum anderen jedoch auch die Gefahr einer Sekundärkaries besteht.

Sollten unter ästhetischen Gesichtspunkten durchgeführte Behandlungen, wie das Bleichen, die langdauernde Funktion der Restaurationen und die Gesundheit des natürlichen Zahnes beeinträchtigen, so würde ihre Anwendung in kritischem Licht erscheinen. Daher ist die Überprüfung des Einflusses von Bleichagenzien auf den adhäsiven Verbund von Kompositen zur Zahnhartsubstanz eine Frage, die für jegliche Kombination von Komposit, Adhäsivsystem und Bleichanwendung zu überprüfen ist.

In der vorliegenden Studie soll daher die Veränderung der Randdichtigkeit von Kompositfüllungen unter dem Einfluss von Bleichgelen untersucht werden. Dabei soll insbesondere evaluiert werden, ob die H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-Konzentration des Gels einen Einfluss auf die Entstehung von Randundichtigkeiten hat.

---

Hierzu sollen in extrahierten Zähnen Kompositfüllungen gelegt werden. Der Verbund vom Füllungsmaterial zum Zahn soll in unterschiedlicher Reihenfolge, sowohl durch Thermocycling einer künstlichen Alterung unterzogen, als auch mit Bleichgelen behandelt werden. Durch die unterschiedliche Reihenfolge der Anwendung von Bleichvorgang und Alterungsprozedur, sollen sowohl klinische Situationen, in denen die Anwendung von Bleichgelen auf bereits längere Zeit bestehende Zahn-Füllungs-Adhäsivverbände erfolgt, als auch Situationen nach intraoraler Alterung vormals gebleichter Zahn-Komposit-Verbände simuliert werden. Dabei sollen unterschiedlich stark konzentrierte Bleichgele angewendet und einer Kontrollgruppe ohne Bleichbehandlung und künstliche Alterung gegenüber gestellt werden.

Die Arbeitshypothesen lauten:

1. Durch Anwendung von Bleichgelen und künstlicher Alterung mittels Thermocycling wird die Randdichtigkeit von Kompositfüllungen negativ beeinflusst.
2. Die Randundichtigkeit ist umso größer, je höher die wirksame Wasserstoffperoxid-Konzentration im Bleichgel ist.
3. Durch die unterschiedliche Reihenfolge der Anwendung der Bleichgele und des Thermocyclings kommt es zu verschieden starker Alteration der Randdichtigkeit.



## 2 Literatur

### 2.1 Historie der Bleichtherapie

Von je her spielt die Ästhetik für die Menschen eine wichtige Rolle. Dies gilt auch für Zähne. Schon seit langem wurde versucht, ihr Aussehen durch Zahnersatz oder durch Aufhellung zu verbessern. So findet sich bei Martial der Hinweis auf weiße Zähne, die gekauft seien (LUTZE 2008), und von Catull ist das Zitat überliefert: : „Egnatius grinst immer und überall, weil er weiße Zähne hat“, oder „Je glänzender uns also Dein Gebiss leuchtet, so mehr zeigt´s an, wieviel Urin Du geschluckt hast“ (HOFFMANN-AXTHELM 1985).

1892 beschrieb ATKINSON Versuche mit  $H_2O_2$ . Nahe den heutigen Techniken blüht er Zähne mittels 3%igen, 5%igen und 25%igen Wasserstoffperoxid-Lösungen. Die Aufhellung trat sofort ein und verstärkte sich noch langsam nach einigen Tagen. Das Ausmaß der Farbveränderung hing von der  $H_2O_2$ -Konzentration ab. Auch endodontisch behandelte Zähne wurden aufgehellt. Dabei verwies ATKINSON auf die empfindliche Reaktion der Gingiva (ATKINSON 1892).

In Leserbriefen des Dental Cosmos wurde 1893 diskutiert, ob Natrium- oder Wasserstoffperoxide zur Aufhellung eher geeignet seien. KIRK vertrat die Auffassung, dass dauerhafte Bleichungen nur mit Natriumperoxiden zu erreichen seien. Ein anhaltender Erfolg sei jedoch nur zu erzielen, wenn zuvor alle organischen Bestandteile aus den Dentintubuli entfernt worden wären. Außerdem erreiche man mittels Natriumperoxiden eine natürliche Transluzenz, wohingegen andere Stoffe ein eher opakes Resultat erzielten (KIRK 1893).

Um die Mitte des vergangenen Jahrhunderts wurde eine Reihe verschiedenster Mittel wie Hypochlorid,  $Na_2O_2$ ,  $H_2O_2$  oder Chloramin zur Zahnaufhellung verwendet. Diese Stoffe wurden auch innerhalb einer Sitzung kombiniert. Laut einer Arbeitsanweisung wurden z.B. nacheinander Chloroformspiritus, 50%ige Schwefelsäure, Ammoniakflüssigkeit, Wasserstoffperoxid und Chloramin auf den Zahn appliziert. In Zwischenschritten wurde die Spülung mit Wasser und darauf folgend die

Trocknung mit zunächst warmer und dann kalter Luft empfohlen. Es wurde auch „UV-Bleichung mit Dentalhöhen Sonne“ durchgeführt, oder Strom wurde mit Hilfe von Elektroden in den Zahn geleitet, um den Wirkstoff aufzuschäumen, wobei allerdings auf eine Abkühlzeit von 30sec. zu achten war (REBEL 1947). Aus heutiger Sicht dokumentieren diese unterschiedlichen Ansätze zwar übereinstimmend den Bedarf und das Ziel der Zahnaufhellung, offenbaren jedoch auch eine große Unsicherheit über die geeignete Vorgehensweise.

## **2.2 Ursachen von Zahnverfärbungen**

Die natürliche Zahnfarbe variiert von hellweißlich über hellgelb bis gelbbraun. Die Farbe ist abhängig von der Dicke und Transparenz des Schmelzes. Außerdem sind Dentinfarbe und -dicke, aber auch die Größe der durchbluteten Pulpa entscheidend. Zusätzlich verändert sich die Farbe und Transluzenz des Zahnes im Alter durch die zunehmende Sklerosierung (ATTIN et al. 2002).

Eine Definition besagt: „Zahnverfärbungen sind klinisch sichtbare Abweichungen von der individuell normalen Zahnfarbe, die aufgrund von Strukturänderungen, Farbstoffeinlagerungen oder exogenen Auflagerungen Krone und Wurzel(n) teilweise oder gänzlich farblich verändern.“ (SCHROEDER 1991).

### **2.2.1 Exogene Verfärbungen**

Exogene Verfärbungen können aufgrund von Anlagerungen verschiedenster Farbstoffe entstehen. Die Farbstoffe heften sich an bereits bestehende physiologische Auflagerungen aus Speichelbestandteilen oder Bakterien, oder die Farbstoffe lagern sich in den oberflächlichen Schmelzschichten des Zahnes ein. Es sind vor allem Nahrungsbestandteile z.B. aus Fruchtsäften, Beerenfrüchten und Gewürzen (ATTIN et al. 2002). Auch Betelkauen und Tannin aus Rotwein und Schwarztee sind bedeutende exogene Verfärbungsquellen.

Oft entstehen Verfärbungen durch Zigarettenrauch (SCHROEDER 1991). Schwarze Girlanden entlang des Zahnfleischsaumes können durch das Rauchen von Marihuana bedingt sein (ATTIN et al. 2002). Auch Lippenstift, oral applizierte Medikamente oder Mundspüllösungen (z.B. Chlorhexidin), aber auch Chemikalien wie Eisensulfit, Zinnfluorid und Silbernitrat können unterschiedlich schattierte Verfärbungen hervorrufen (GULDENER und LANGELAND 1993; ATTIN et al. 2002). Chromogene Bakterien können, vorwiegend bei Kindern, meist zervikale, farbige Verfärbungen entstehen lassen. Dieser „Black Stain“ zählt dabei nicht zu den exogenen Zahnverfärbungen. Die pigmentbildenden Bakterien verschwinden oft während oder nach der Pubertät (SCHROEDER 1991; ATTIN et al. 2002). Viele Farbveränderungen lassen sich durch eine gute Mundhygiene hemmen oder vermeiden, oder sie können zumindest meist durch eine professionelle Zahnreinigung entfernt werden. Verfärbungen durch Karies oder Füllungsmaterialien wie Silberamalgame bilden hierbei natürlich eine Ausnahme (GULDENER und LANGELAND 1993; SCHROEDER 1991).

## **2.2.2 Endogene Verfärbungen**

### **2.2.2.1 Lokalisierte Zahnverfärbungen**

Häufig entstehen Farbänderungen durch die Abbauprodukte einer nekrotischen Pulpa. Maßgeblich für das Ausmaß der Verfärbung sind die Dauer bis zur endodontischen Behandlung und der Durchmesser der Dentintubuli. Kommt es im Zuge von Vitalexstirpationen zu größeren Blutungen oder bleibt nach einer Vitalexstirpation Blut im Pulpenkavum zurück, kann es zu dessen Einlagerung in die Dentintubuli kommen. Das Hämoglobin des Blutes wird dann zu verschiedenen Abbauprodukten verstoffwechselt, wodurch der Zahn gelbbraunlich wird und die Kronentransluzenz verloren geht (SCHROEDER 1991; GULDENER und LANGELAND 1993).

Bei Traumata kann es zur Ruptur von Blutgefäßen und zu diffusen Blutungen kommen. Wiederum hämolysiert das Blut und verfärbt den Zahn. Das frei werdende Eisen verbindet sich mit Schwefelwasserstoff, welcher von Bakterien gebildet wird. Es entstehen dunkel färbende Schwefel-

eisenverbindungen wie z.B. Sulfide (SCHROEDER 1991; GULDENER und LANGELAND 1993).

Wurzelfüllmaterialien wie Guttapercha bedingen Farbänderungen und dürfen deshalb nicht koronal verbleiben (SCHROEDER 1991; GULDENER und LANGELAND 1993).

Eine initiale aktive Kariesläsion im Schmelz fällt durch weißliche, opake Flecken auf. Die Oberflächenkontinuität ist nicht unterbrochen. Durch Beseitigung der kariogenen Noxen kann der Demineralisation Einhalt geboten werden und die Läsion kann remineralisieren. Der Begriff initiale Karies beinhaltet aktive wie auch inaktive Ausprägungen der Schmelzkaries (HELLWIG et al. 2003). Ruhende, inaktive Schmelzkaries fällt als glänzende, glatte, harte, braungelbe, lokalisierte Verfärbung des Zahnes auf und wird nicht behandelt, solange der Zustand stabil bleibt. Approximale Kariesläsionen haben ein dunkleres Erscheinungsbild des Zahnes zur Folge. Sie werden jedoch vor einer geplanten Bleichbehandlung durch eine restaurative Füllungstherapie behandelt (ATTIN et al. 2002).

#### 2.2.2.2 Generalisierte Zahnverfärbungen

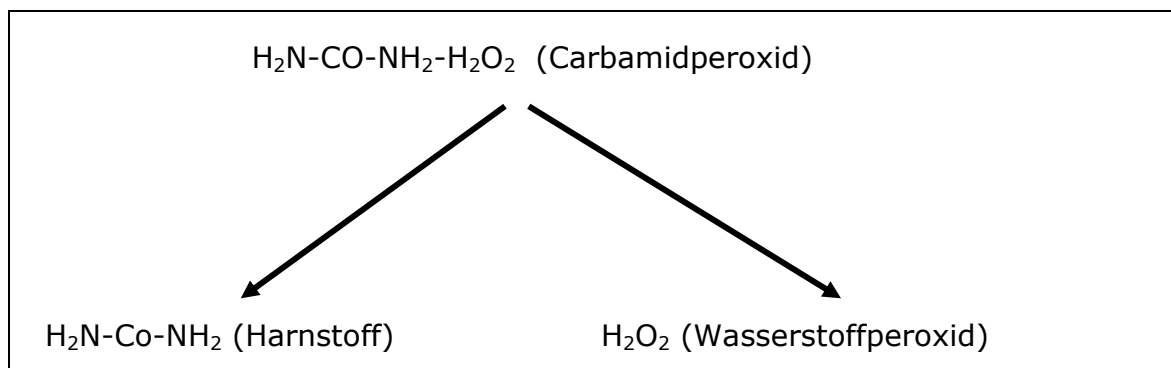
Für systemische endogene Verfärbungen lassen sich die Medikamente Jodoform, Silbernitrat, Tetrazyklin, aber auch ätherische Öle und Schwermetallsalze verantwortlich machen (GULDENER und LANGELAND 1993).

Die Verabreichung von Tetrazyklinen kann, je nach Art des Tetrazyklins (Chlortetrazyklin, Oxytetrazyklin), zu graubraunen oder bräunlichen Effekten führen. Da die Plazenta für Tetrazykline durchgängig ist, können auch im fetalen Blut hohe Konzentrationen erreicht werden. Sie bilden mit Kalzium einen Tetrazyklin-Kalzium-Orthophosphat-Komplex, der aufgrund des langsamen Abbaus im Schmelz und Dentin, vorzugsweise entlang der Wachstumslinien, eingelagert wird. Bei sehr hohen Dosen kann es zu Schmelzhypoplasien kommen, da die Ameloblasten in Struktur und Leistung verändert werden können (SCHROEDER 1991).

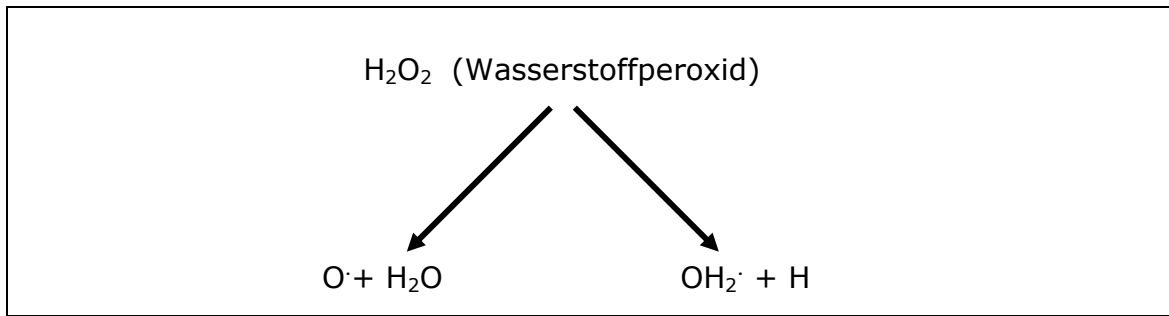
Zu den endogenen Verfärbungen können auch weißliche Flecken aufgrund von Amelogenesis imperfecta und Fluorose gezählt werden (GULDENER und LANGELAND 1993 und SCHROEDER 1991).

### 2.3 Chemischer Mechanismus des Bleichens

Der aktive Wirkstoff der Bleichprodukte ist Wasserstoffperoxid (Anderson 1991). Es liegt direkt als  $H_2O_2$  oder Carbamidperoxid vor. Carbamidperoxid ist Harnstoff mit einer Carbamidgruppe. 10%iges Carbamidperoxid zerfällt zu 3,4%  $H_2O_2$  und 6,6% Harnstoff (ATTIN et al. 2002). 5,4%iges  $H_2O_2$  entsteht bei 15%igem Carbamidperoxid und 7%iges  $H_2O_2$  bei 20%igem Carbamidperoxid (FASARANO 2002).



Harnstoff ist ein geruchloses, kristallisierendes, gut wasserlösliches Endprodukt des Eiweißstoffwechsels (ATTIN et al. 2002). Es dient als Carriermolekül und zerfällt über die Zwischenstufe Ammoniak ( $NH_3$ ) weiter in Kohlendioxid, Wasserstoff und Stickstoff. So kommt es zu einem pH-Anstieg, der für die Entstehung von Radikalen aus dem Wasserstoffperoxid von Bedeutung ist. Dabei ist  $HO_2\cdot$  ein stärkeres Radikal als  $O\cdot$ .  $HO_2\cdot$  ist somit wichtiger für den Bleicheffekt.



Überwiegend gebildet wird jedoch zunächst das schwächere Radikal  $\text{O}\cdot$ . Um mehr  $\text{HO}_2\cdot$  und somit einen größeren Bleicheffekt zu erzielen, muss die Lösung alkalisch sein. Das pH-Optimum hierfür liegt zwischen 9,5 und 10,8 (ZARAGOZA 1984; FRYSH et al. 1995).

Verschiedene Enzyme wie z.B. die Pyruvatoxidase, aber auch Bicarbonat und Phosphat, können jedoch dazu führen, dass keine freien Radikale gebildet werden (CARLSON et al. 1987). Es entstehen nur Wasser und Sauerstoff.



Die antioxidativen Enzyme erfüllen in der Mundhöhle eine wichtige Rolle zum Schutz vor Oxidationen. Zur Bleichung der Zahnoberflächen müssen die Zähne vor dem Bleichen gereinigt und getrocknet werden, damit die aktiven, bleichenden Radikale gebildet werden können (CARLSON et al. 1987).

Die Radikale können zwischen den Schmelzprismen hindurch in den Zahn eindringen (ATTIN et al. 2002). Dort kommt es zu einer Oxidation der organischen Komponenten (FEINMANN et al. 1988). Die Radikale besitzen ungepaarte Elektronen und reagieren mit Molekülen, um ihre Ladung auszugleichen. So werden die ungesättigten C-C-Doppelbindungen größerer farbiger Moleküle oxidativ gespalten. Carbonringe können geöffnet und in Ketten verwandelt werden. Die derart veränderten Ketten haben eine hellere Farbe, so dass es zur Aufhellung des Zahnes kommt (ALBERS et al. 2001). Außerdem kann farbiges Metalloxid durch Reduktion aufgehellt werden (ATTIN et al. 1998). Insgesamt entsteht somit die gewünschte Aufhellung des Zahnes durch Oxidations- und Reduktionsprozesse (ATTIN et al. 2002).

## 2.4 Methoden zum Bleichen verfärbter Zähne

Zum Aufhellen von Zähnen gibt es verschiedene Vorgehensweisen. Die unterschiedlichen Methoden werden abhängig von der Vitalität der Zähne angewendet. Ferner ist für die Bleichmethode von Bedeutung, ob nur einzelne oder alle Zähne aufgehellt werden sollen.

Zum Bleichen vitaler Zähne stehen folgende Methoden zur Verfügung:

- Home-Bleaching
- Chairside-Bleaching
- In-office Bleaching
- Over-the-Counter-Produkte
- Mikroabrasion

Avitale Zähne können wie folgt aufgehellt werden:

- Walking-Bleach-Technik
- Thermokatalytische Methode

Diese Methoden können, je nach Anforderung, auch miteinander kombiniert werden. So können zunächst einzelne avitale Zähne durch die Walking-Bleach-Methode behandelt werden, um danach das gesamte Gebiss mit einer anderen Methode, z.B. Home-Bleaching, aufzuhellen (ATTIN et al. 2002).

### 2.4.1 Bleichen vitaler Zähne

#### 2.4.1.1 Home-Bleaching

Nach einem Beratungsgespräch und Aufklärung des Patienten über die Behandlung und mögliche Nebeneffekte wird eine professionelle Zahnreinigung und eine anschließende Fluoridierung vorgenommen.

Insuffiziente Füllungen müssen erneuert und kariöse Defekte behandelt werden. Dann wird die Zahnfarbe bestimmt und das anzustrebende Farbergebnis besprochen.

Mit Hilfe eines Alginatabdruckes wird eine Tiefziehschiene hergestellt. Vor dem Tiefziehen über dem Gipsmodell wird auf der Labialfläche der Gipszähne eine Schicht lichthärtenden Kunststoffes aufgebracht, damit in der Schiene Reservoir für das Bleichmittel entstehen. Die Schiene muss exakt am Gingivarand enden, um diesen später nicht durch die Bleichagenzien zu reizen.

Das Bleichgel wird in die Schiene eingebracht und der Patient wird in deren Anwendung eingewiesen (ATTIN et al. 2002). Es werden 10- bis 20%ige Carbamidperoxide verwendet (ANDERSON 1991). Die Schiene wird ca. zwei Wochen getragen. Die Länge der täglichen Tragedauer variiert, je nach gewünschter Aufhellung, von zwei bis zu mehreren Stunden.

#### 2.4.1.2 Chairside-Bleaching

Bei dieser Methode am Behandlungsstuhl können einzelne, aber auch mehrere Zähne aufgehellt werden. Das Bleichgel wird direkt auf die Zähne aufgetragen. Dabei wird keine Schiene verwendet, sondern die Gingiva wird durch eine Schicht lichthärtenden Kunststoffes (liquid dam) geschützt. Dann wird z.B. ein 35%iges Wasserstoffperoxid aufgetragen (ATTIN et al. 2002). Früher wurde die Reaktion mit Hilfe von Wärme beschleunigt (GOLDSTEIN 1997). Heute wird die sicherere und schnellere Lichtaktivierung bevorzugt (FASANARO 1992).

Mit dieser Methode können auch einzelne avitale Zähne aufgehellt werden. Dazu wird der Zahn von palatinal geöffnet und die Wurzelfüllung wird mit Glasionomermzement abgedeckt. Hier wird kein Licht angewendet, um der Gefahr von internen Wurzelresorptionen vorzubeugen (ATTIN et al. 2002). Nach der Behandlung muss das  $H_2O_2$  mit einer temporären Kalziumhydroxideinlage neutralisiert werden.



#### 2.4.1.3 In-office Bleaching

Hier wird nach erfolgter Vorbehandlung eine Schiene hergestellt. 35%iges Carbamidperoxid wird eingefüllt, die Überschüsse werden entfernt. Nach einer Stunde wird das Ergebnis überprüft. Ist das Ergebnis nach dieser Behandlung noch nicht zufrieden stellend, kann sie nach 3-4 Tagen wiederholt werden (ATTIN et al.2002).

#### 2.4.1.4 Over-the-Counter-Produkte (OTC-Produkte)

Da die Nachfrage nach Bleichprodukten immer größer wird, hat auch der Einzelhandel diesen Markt für sich entdeckt. Schienensysteme und Whitening-Strips, wie auch Systeme zum Aufmalen des Wirkstoffes sind frei erwerblich. Als Wirkstoffe werden Wasserstoff- oder Carbamidperoxide angeboten. Viele dieser Produkte wurden bisher keiner unabhängigen klinischen Studie unterzogen. Deshalb können Fragen nach Effektivität und Sicherheit nicht umfassend beantwortet werden. Außerdem müssen die OTC-Schienensysteme mit Vorsicht betrachtet werden. Wenn sie nicht professionell angepasst werden, kann es zu Gingivareizungen und Okklusionsproblemen kommen (KUGEL 2003).

#### 2.4.1.5 Mikroabrasion

Im Gegensatz zu den übrigen Methoden handelt es sich hier um ein mechanisches Aufhellungsverfahren. Ein Gemisch aus Bimsteinpulver und 10-18%iger Zitronen- oder Phosphorsäure wird aufgetragen. Mit einem Gummikelch wird eine abrasive Politur vorgenommen. Es entsteht eine glatte Oberfläche. Durch Veränderung der Lichtreflektion entsteht ein gutes optisches Ergebnis. Da es zum Substanzverlust des Schmelzes führt, sollte die Mikroabrasion nur in Ausnahmefällen zur Anwendung kommen (ATTIN et al. 2002).

## 2.4.2 Bleichen avitaler Zähne

### 2.4.2.1 Walking-Bleach-Technik

Die Walking-Bleach-Technik ist ein Verfahren zur internen Aufhellung avitaler Zähne. Verwendet wird ein Gemisch aus Natriumperborat und destilliertem Wasser bzw. 3%  $H_2O_2$  als intrakoronale Einlage (ATTIN et al. 2001). Das Gemisch wird für drei bis fünf Tage in das Pulpenkavum eingebracht und mit einer provisorischen Füllung dicht verschlossen. Spätestens nach drei- bis viermaliger Wiederholung sollte das gewünschte Ergebnis erreicht sein (ROTSTEIN et al. 1992). Um zervikale Resorptionen zu vermeiden, sollte heute kein 30%iges Wasserstoffperoxid mehr verwendet werden (ROTSTEIN et al. 1992). ROTSTEIN konnte nachweisen, dass der Verzicht auf das hochkonzentrierte  $H_2O_2$  hinsichtlich des Farbergebnisses keinen Unterschied macht. Voraussetzung für ein gutes Ergebnis ist eine dichte Wurzelkanalfüllung, die bis auf Höhe des epithelialen Attachments reduziert wird und mit Hilfe von Glasionomermaterial verschlossen wird (ATTIN et al. 2002). Nach erfolgreichem Abschluss der Behandlung sollte der pH-Wert im Pulpenkavum mittels einer ein- bis zweiwöchigen Kalziumhydroxideinlage neutralisiert werden (ATTIN et al. 2002).

### 2.4.2.2 Thermokatalytische Methode

Bei der thermokatalytischen Methode werden avitale Zähne mit Hilfe von 30%igem Wasserstoffperoxid und Hitze gebleicht (GULDENER, LANGELAND 1993). Das Vorgehen gleicht dem zuvor beschriebenen, nur dass hochkonzentrierter Wirkstoff verwendet wird und zusätzlich eine Wärmelampe im Abstand von 50-60cm auf den Zahn gerichtet wird. Nach fünf Minuten wird die Einlage erneuert und die Behandlung drei- bis viermal wiederholt (GULDENER und LANGELAND 1993). Diese Methode sollte heute nicht mehr praktiziert werden, da nach der Verwendung des hochkonzentrierten Wasserstoffperoxides und der Anwendung von Wärme vermehrt Wurzelresorptionen beobachtet wurden (ROTSTEIN et al. 1992; ATTIN 2001).

## 2.5 Farbeffekt und -stabilität

### 2.5.1 Farbeffekt

Mehrfach wurde der Aufhellungseffekt unterschiedlicher Wirkstoffe in unterschiedlicher Konzentration untersucht. So wurden z.B. wurzelgefüllte Zähne mit 35%igen Carbamid- oder 35%igen Hydrogenperoxiden, wie auch mit Natriumperboraten behandelt (LIM et al. 2004). Die Farbe wurde am Tag 0, 7 und 14 der Bleichbehandlung betrachtet. Nach 7 Tagen waren die Carbamid- und Hydrogenperoxidgruppen um  $8 \pm 3$  Farbstufen (Vita-Farbabstufungen) heller, die Natriumperboratgruppen hingegen nur um  $5 \pm 3$  Farbstufen. Am Tag 14 waren die beiden erstgenannten Gruppen um weitere  $2 \pm 2$  und letztere Gruppen um  $3 \pm 4$  Vitafarbstufen aufgehellt, so dass sich nach 14 Tagen, ungeachtet des Wirkstoffes, für alle Gruppen das gleiche Aufhellungsergebnis erkennen ließ.

ALONSO DE LA PENA und BALBOA CABRITA (2006) berichteten von Versuchen mit 3,5%igen Hydrogenperoxiden und 10%igen Carbamidperoxiden. Nach vier Wochen beobachteten sie bei allen Patienten, unabhängig vom Wirkstoff, den gleichen Aufhellungseffekt. Die Hydrogenperoxide schienen jedoch vermehrt eine erhöhte Sensibilität zu provozieren.

Das Ausmaß der Aufhellung hängt also nicht allein von dem Wirkstoff und dessen Konzentration ab. Vielmehr beeinflussen auch die Anwendungszeit und die anschließend bis zur Beurteilung verstrichene Zeit das Ergebnis.

### 2.5.2 Farbstabilität

Langzeitstudien zum Erfolg des Bleichens, mit einer Verlaufskontrolle über mehrere Jahre, sind schwer zu finden. 2006 wurde von AMATO et al. eine Langzeitstudie veröffentlicht, die gebleichte, endodontisch behandelte Zähne von 1989 bis 2005 nachverfolgte. Alle Zähne wurden zwischen 1987 und 1989 gebleicht. Nach 16 Jahren konnten nur noch 35 Fälle erneut untersucht werden. 62,9% wiesen ein stabiles Farbergebnis auf, 37,1% hingegen waren wieder nachgedunkelt oder zu ihrer Ausgangsfarbe zurückgekehrt (AMATO et al. 2006).

In einer weiteren Studie wurden gebleichte Zähne nach 3, 6 und 47 Monaten bezüglich des Farbergebnisses nachuntersucht (LEONARD et al. 2001). Die Zähne waren zuvor mit 10%iger Carbamidperoxid-Lösung aufgehellt worden. Diese Behandlung war in 98% der Fälle erfolgreich. Der Aufhellungseffekt bestand nach 47 Monaten noch bei 82% der gebleichten Zähne.

Trotz der begrenzten Anzahl an Langzeitstudien ist wohl davon ausgehen, dass in den meisten Fällen die Aufhellung über einen längeren Zeitraum von mehreren Jahren erhalten bleibt.

Über Farbbestimmungen wenige Wochen nach dem Bleichen finden sich mehrere Studien. Dabei werden zumeist die Bleichergebnisse von unterschiedlich hoch konzentrierten Wirkstoffen evaluiert. So verwendeten BRAUN et al. (2006) 10%ige und 17%ige Carbamidperoxide im Vergleich zu einem Placebo. Die höher konzentrierte Lösung erbrachte schneller als die niedriger konzentrierte Lösung ein Ergebnis. Nach einer Woche war bei beiden Mitteln eine deutliche Aufhellung zu erkennen. Zwei Wochen nach dem letzten Bleichen wurden die Proben erneut untersucht und bei allen Zähnen wurde eine leichte Nachdunkelung festgestellt.

## **2.6 Einfluss auf Zahnhartgewebe**

Der Einfluss von verschiedenen Bleichagenzien auf die Zahnhartgewebe, insbesondere den Zahnschmelz, wurde etliche Male untersucht. Vor allem die Mikrohärtigkeit und die Oberflächenstruktur waren oftmals Gegenstand der Forschung. Es wurde aber auch die Frakturanfälligkeit vor und nach dem Bleichen geprüft. In Bezug auf diese Thematik scheint eine große Uneinigkeit in der Literatur zu bestehen. Mehrere Studien (SULIEMAN et al. 2004; PARK et al. 2004; AUSCHILL et al. 2002) weisen auf eine bedenkenlose Anwendbarkeit der Agenzien hin, wohingegen andere (BASTING et al. 2003; YEH et al. 2005; HEGEDUS et al. 1999) von möglichen Zahnhartsubstanzschäden sprechen.

### 2.6.1 Änderung der Oberflächenstruktur und Mikrohärt

SULIEMAN et al. (2004) betrachteten Schmelz- und Dentinveränderungen unter dem Einfluss von 35%igem Hydrogenperoxid, gefolgt von einer Behandlung mit Zitronensäure, Zahnpasta oder Wasser. Außerdem verwendeten sie Wasser bzw. Orangensaft in Kombination mit Zahnpasta. Rasterelektronenmikroskopisch stellten sie keinerlei Veränderungen im Zusammenhang mit einer Bleichbehandlung fest, ungeachtet ob in alleinigem Gebrauch oder in Kombination mit Zahnpasta. Im Gegensatz dazu fanden sie deutliche Erosionen nach der Behandlung mit Orangensaft und anschließendem Putzen mit Zahnpasta (SULIEMAN et al. 2004).

Ähnliche Ergebnisse erzielte auch eine Studie an Rinderschmelz (PARK et al. 2004). Die Zähne wurden für 120 Stunden mit 30%igem Hydrogenperoxid gebleicht. Daraufhin wurden rasterelektronenmikroskopische Untersuchungen gemacht und die Vickers-Härte gemessen. Die Ergebnisse wurden mit denen einer unbehandelten Gruppe verglichen. Die Autoren stellten fest, dass sich weder die Oberflächenstruktur noch die Mikrohärt

veränderte, so dass sie von einem sicheren Gebrauch von 30%igem Hydrogenperoxid sprechen. Auch in Bezug auf verschiedene Techniken des Bleichens, wie die Verwendung von Whitestrips, Home-Bleaching und professionellem Aufhellen beim Zahnarzt, ließen sich mit dem Rasterelektronenmikroskop keine Oberflächenänderungen des Schmelzes feststellen (AUSCHILL et al. 2002).

Demgegenüber stellen mehrere Studien (BASTING et al. 2003; YEH et al. 2005; HEGEDUS et al. 1999; TURKUN et al. 2002) Veränderungen der Zahnhartsubstanzen im Zeitraum von einigen Tagen bis zu zwei Wochen fest. BASTING et al. (2003) betrachteten die Auswirkungen von verschieden hoch konzentrierten Carbamidperoxidgelen. Als Vergleich diente eine Placebogruppe. Die Mikrohärt

wurde zu Beginn des Versuches, nach einer Stunde und dann mehrmals nach 14 bis zu 42 Tagen gemessen. Sie stellten zunächst eine verminderte Mikrohärt

der Schmelzoberfläche fest, die nach mehreren Tagen wieder anstieg, jedoch nicht die ursprüngliche Härte wieder erreichte (BASTING et al. 2003).

Weiterhin wurde die Wirkung von 37%iger Phosphorsäure nach der Anwendung von 10%igem Carbamidperoxidgel evaluiert (YEH et al. 2005).

Wie sich mit Hilfe der Rasterelektronenmikroskopie herausstellte, wurde die Schmelzoberfläche poröser, und der Säureangriff erzeugte ausgeprägtere Veränderungen, wenn die Zähne zuvor gebleicht wurden.

TURKUN et al. untersuchten verschiedene Bleichprodukte mit 10%igem Carbamidperoxid. Nach dem Bleichvorgang wurden Epoxidharz-Replikas hergestellt und rasterelektronenmikroskopisch untersucht. Das Ausmaß der Veränderung der Oberflächenmorphologie hing vom verwendeten Bleichgel wie auch von der Dauer der Applikation ab (TURKUN et al. 2002).

### **2.6.2 Fraktur- und Kariesanfälligkeit**

WHITE et al. (2003) befassten sich, über das Thema der Oberflächenstruktur hinaus, zusätzlich mit der Frakturanfälligkeit gebleichter Zähne. Als Referenz zu Hydrogenperoxid- und Carbamidperoxidgelen verwendeten sie Placebogelee und völlig unbehandelte Zähne. Es wurde kein schädlicher Effekt auf die Schmelzoberfläche gefunden, und es wurde keine erhöhte Frakturanfälligkeit der untersuchten Zähne festgestellt (WHITE et al. 2003).

Es lässt sich zusammenfassen, dass es keine eindeutigen Nachweise einer Schädigung der Zahnhartsubstanz nach dem Gebrauch von Bleichagenzien gibt. Wenn eine Alteration nachgewiesen wurde, hing das Ausmaß vom verwendeten Produkt und der Einwirkzeit ab.

Kritisch zu bewerten ist die leichtere Säurelöslichkeit des Zahnes nach dem Bleichen (YEH et al. 2005). Ganß evaluierte jedoch, dass gebleichter Schmelz keine erhöhte Kariesanfälligkeit aufweist (GANSS et al. 1997).

## **2.7 Einfluss auf das Weichgewebe**

Der Einfluss von Bleichgelen auf die Weichgewebe des Zahnes spielt in vielerlei Hinsicht eine wichtige Rolle. Wird die Pulpa gereizt, kann es zu Sensibilitäten, bei einer Pulpaschädigung zu Schmerzen bis hin zum Vitalitätsverlust des Zahnes kommen. Auch Gingivairritationen können schmerzhaft sein und im schlimmsten Fall zu bleibenden Destruktionen führen.

### **2.7.1 Zell- und Gingivairritationen**

In einer In-vitro-Studie wurde der Einfluss von Bleichgelen auf Fibroblasten aus der menschlichen Gingiva untersucht (TIPTON et al. 1995). Mikroskopisch ließ sich nachweisen, dass schon H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-Konzentrationen von 0,05% bis 0,025% die Mehrzahl der Fibroblasten abtöteten. Bei niedrigeren Konzentrationen von 0,025% bis 0,017% ließen sich morphologische Änderungen nachweisen. Außerdem wurde die Proliferation der Zellen gehemmt und Kollagen I und III wurden vermindert produziert.

Klinische Studien können diese Vorbehalte nicht bestätigen. Gingivairritationen waren zwar selten Hauptgegenstand von klinischen Untersuchungen, wurden aber gelegentlich parallel zu anderen Fragestellungen überprüft. So wurden in einer Studie über die Veränderung der Zahnfarbe bei Verwendung verschiedener Wirkstoffe weder Hypersensibilitäten noch Gingivairritationen festgestellt (MOKHLI et al. 2000).

In einer weiteren Studie über die Anwendung von ultraviolettem Licht bei einem Bleichprodukt, welches einen Fotoaktivator enthält (ZIEMBA et al. 2005), fanden die Autoren, dass keine Erytheme, Abschuppungen oder Ulzerationen der Weichgewebe auftraten. Das gleiche Ergebnis wurde erbracht, wenn 6%ige Hydrogen- und 18%ige Carbamidperoxide verwendet wurden (COLLINS et al. 2004). Die Gingiva wurde dabei einen Tag vor der Behandlung, am zweiten, fünften, achten und fünfzehnten Tag nach der Behandlung kontrolliert.

Da ein negativer Einfluss von Bleichagenzien auf die Gingiva jedoch nicht auszuschließen ist, wird empfohlen, diese mit Hilfe von Schienen oder einer Schicht flüssigen Kunststoffes zu schützen (ATTIN et al. 2002).

### **2.7.2 Reaktionen der Pulpa**

Trotz ihrer Lage innerhalb des Zahnes, entfernt vom Ort der Vitalbleichung auf der Zahnoberfläche, ist die Reaktion der Pulpa von Interesse. Um Einfluss auf die Pulpa nehmen zu können, müssten die Wirkstoffe aus den Gelen erst von der Zahnoberfläche durch die Zahnhartsubstanz zur Pulpa vordringen. Hierzu wurde die Penetration der aktiven Bestandteile mehrfach

evaluiert. Dazu wird in vitro ein Azetatpuffer in die Pulpahöhle der Untersuchungszähne gefüllt. Nach der Bleichbehandlung, bei der der Azetatpuffer mit den Bleichwirkstoffen reagieren kann, wird der Puffer spektrophotometrisch auf Einflüsse der Hydrogen- oder Carbamidperoxidreaktionen untersucht. Dies ist ein gängiges Verfahren zur Bestimmung der in die Pulpenhöhle gelangten Peroxide (GOKAY et al. 2005, THINTINANTHAPAN et al. 1999, BENETTI et al. 2004).

Nachweislich penetrieren Hydrogen- wie auch Carbamidperoxide in den Zahn und können die Pulpahöhle erreichen (THITINANTHAPAN et al. 1999). Wenn 10%ige Carbamidperoxide verwendet wurden, war das Ausmaß der Penetration vom Produkt abhängig. Die Autoren schlussfolgern, dass hieraus verschieden ausgeprägte Hypersensibilitäten resultieren könnten. Höher konzentrierte Wirkstoffe dringen vermehrt ein (GOKAY et al. 2005) und gefüllte Zähne werden ebenfalls stärker durchdrungen (BENETTI et al. 2004).

Aufgrund der Penetration von Bleichwirkstoffen können Reaktionen der Pulpa nicht grundsätzlich ausgeschlossen werden. Je mehr Wirkstoffe penetrieren, desto größer ist möglicherweise die Gefahr, dass die Pulpa gereizt oder geschädigt werden könnte. Hierzu gibt es jedoch keine klinischen Daten, welche eine entsprechende der Vermutung der Autoren THITINANTHAPAN et al. (1999) bestätigen würden.

## **2.8 Einfluss auf Kompositrestaurationen**

Bleichgele können Effekte nicht nur auf die Zahnschmelz haben. Auch Füllungsmaterialien können von Bleichpräparaten alteriert werden. Daher muss auch der Effekt auf Füllungen überprüft werden. Vielfach beschäftigen sich unterschiedliche Studien z.B. mit der Veränderung der Mikrohärtigkeit, der Oberflächenrauigkeit, der Bakterienadhäsion, der Oberflächenmorphologie, der Dichtigkeit, der Haftkraft und dem Bleicheffekt von bzw. an Kompositrestaurationen.



### **2.8.1 Mikrohärte von Kompositrestaurationen**

In Bezug auf die Ergebnisse zur Mikrohärte herrscht Einigkeit in der Literatur. MUJDECI und GOKAY (2006), wie auch YAP und WATTANAPAYUNGKUL (2002) beschäftigten sich mit diesem Thema. Erstere verwendeten verschiedene Füllungsmaterialien (Nanohybridkomposit, polyacrylsäuremodifiziertes Komposit und Glasionomermzement) und behandelten diese mit 10%igen Carbamidperoxiden oder 14%igen Hydrogenperoxiden. Beim Vergleich der Vickers-Härte zeigte sich, dass die Materialien selbst unterschiedlich hart sind, die Bleichgele darauf jedoch keinen Einfluss haben (MUJDECI und GOKAY 2006).

Zu dem gleichen Ergebnis kamen auch YAP und WATTANAPAYUNGKUL (2002) mit z.T. anderen Füllungsmaterialien und Bleichagenzien. Auch hier war der Härteunterschied abhängig vom Material, nicht aber von der Bleichbehandlung.

### **2.8.2 Farbreaktionen von Kompositfüllungen**

Wenn eine Aufhellung des gesamten Gebisses vorgenommen werden soll, ist es wichtig zu wissen, ob auch bereits vorhandene Kompositfüllungen eine Entfärbungsreaktion aufweisen. So sollen z.B. Kaffee- oder Rotweinverfärbungen zu entfernen sein. Tatsächlich lassen sich diese Verfärbungen durch Bleichen beseitigen (VILLATA et al. 2006). Der Effekt der verfärbenden Substanzen ist dabei jedoch abhängig von der Art des verwendeten Komposites.

TURKUN und TURKUN (2004) verwendeten in ihrer Studie 15%iges Hydrogenperoxid und drei verschiedene Poliersysteme, um durch Kaffee oder Tee hervorgerufene Farbveränderungen zu behandeln. Auch diese Studie zeigte, dass das Ausmaß der Farbveränderung durch Tee oder Kaffee von dem verwendeten Füllungsmaterial abhängt. Auch die Reinigungsmöglichkeit war bei den verschiedenen Poliersystemen unterschiedlich groß. Die Tee- und Kaffeerückstände konnten jedoch immer durch Bleichen oder Reinigung entfernt werden, wobei das Bleichen effektiver war.

### **2.8.3 Oberflächenrauigkeit von Kompositfüllungen und die Anheftung von Speichel und Bakterien**

Für die Kariesentstehung sind unter anderem die Oberflächenrauigkeit und die Bakterienadhäsion von Bedeutung. Somit ist von Interesse, ob Bleichgele Einfluss auf diese Parameter haben. Vermehrte, messbare Oberflächenrauigkeiten sind jedoch so gering, dass sie als klinisch nicht signifikant erscheinen (KIM et al. 2004).

MOR et al. (1998) führten eine Studie über den Einfluss von Speichel auf die Bakterianheftung auf gebleichten und nicht gebleichten Restaurationen durch. Nach einer Bleichbehandlung mit 10%igem Carbamidperoxid oder 10%igem Hydrogenperoxid für einen, drei oder sieben Tage wurde die Anheftung von *Streptococcus mutans*, *Streptococcus sobrinus* und *Actinomyces viscosus* bestimmt. Nach drei Tagen Bleichbehandlung wurde bei beiden Wirkstoffen eine erhöhte Anheftung von *Streptococcus mutans* und *Streptococcus sobrinus* festgestellt. *Actinomyces viscosus* war hingegen vermindert vorhanden (MOR et al. 1998).

### **2.8.4 Randdichtigkeit von Kompositrestaurationen**

Von Bedeutung, gerade auch in Bezug auf die vorgelegte Studie, ist die Randdichtigkeit von Kompositrestaurationen nach dem Bleichen. Zu diesem Thema gibt es sehr viele In-vitro-Studien, welche durchaus gegensätzliche Ergebnisse gezeigt haben.

TEIXEIRA et al. (2003) behandelten extrahierte Zähne mit unterschiedlichen Bleichagenzien. Daraufhin wurden die Zähne entweder sofort gefüllt oder 7, 14 oder 21 Tage gelagert, bevor sie mit Kompositfüllungen versehen wurden. Nach dem Thermocycling wurde eine Methylenblau-Lösung verwendet, um die Randdichtigkeit zu überprüfen. Waren die Füllungen sofort oder nur sieben Tage nach dem Bleichen gelegt worden, war das Ausmaß der Farbstoffpenetration größer als in der Versuchsgruppe ohne Bleichbehandlung. Lag jedoch eine Zeitspanne von 14 bzw. 21 Tagen zwischen Bleichen und anschließendem Füllungslegen, so war die Randdichtigkeit der Füllungen nicht beeinträchtigt. Die Autoren zogen daraus den Schluss, dass die Randdichtigkeit von Kompositrestaurationen

negativ beeinflusst werden kann, sofern diese innerhalb von 7 Tagen nach dem Bleichen gelegt wurden (TEIXEIRA et al. 2003).

TURKUN und TURKUN (2004) bestätigten dieses Ergebnis und stellten fest, dass 10%iges Carbamidperoxid die Dichtigkeit von Kompositfüllungen herabsetzt, wenn die Füllungen sofort nach dem Bleichen gelegt wurden. Wurden die Zähne jedoch nach dem Bleichen zunächst für eine Woche in Speichel gelagert oder mit Antioxidantien behandelt, war dieser negative Effekt nicht zu beobachten.

KLUKOWSKA et al. (2008) untersuchten den Einfluss von Crest Whitestrips, Opalescence PF mit 20% Carbamidperoxid und Opalescence Xtra Boost mit 38% Hydrogenperoxid auf die Randdichtigkeit von zervikalen Kompositfüllungen. Zwischen mehreren Bleichbehandlungen wurden hier die Zähne in Speichel gelagert. Thermocycling fand nicht statt. In allen Gruppen, einschließlich der Kontrollgruppen, war die Penetration des Farbstoffes Rhodamin-B-Isothiocyanat unter dem Mikroskop nachweisbar. Generell war die Penetration im Dentin höher als im Schmelz. Im Dentin war die Randdichtigkeit leicht, jedoch nicht signifikant, durch das Bleichen reduziert.

WHITE et al. (2008) wendeten einen ganz ähnlichen Versuchsaufbau an, nur dass hier okklusale Füllungen Untersuchungsgegenstand waren. Die verwendeten Bleichgele waren hier Opalescence Gel mit 20% Carbamidperoxid, Crest Whitestrips und Crest Night Effects. Auch hier wurde festgestellt, dass das Bleichen das Ausmaß der Farbstoffpenetration nicht signifikant erhöhte (WHITE et al. 2008).

Dem entgegen berichten mehrere Autoren über einen negativen Effekt des Bleichens auf den Randbereich von Kompositfüllungen (CRIM 1992, ULUKAPI et al. 2003, BARKHORDAR et al. 1997, TITLEY et al. 1988, TORNECK et al. 1990 und SHINOHARA et al. 2001):

CRIM (1992) stellte fest, dass es zu verringerter Randdichte kam, wenn das Bleichen nach der Füllungslegung stattfand, nicht aber, wenn es zuvor durchgeführt wurde. ULUKAPI et al. (2003) verglichen die Beeinflussbarkeit der Randdichtigkeit durch Bleichen von Amalgam- und Kompositfüllungen. Die Randdichtigkeit neben Kompositrestaurationen wurde, im Gegensatz zu

den Amalgamrestorationen, negativ verändert. BARKHORDAR et al. (1997) fanden heraus, dass die Randdichtigkeit geringer war, je länger das Bleichgel eingewirkt hatte.

Im Weiteren ist interessant, dass nicht alle Restaurationsmaterialien gleich auf die Bleichgele reagieren. So stellten OWENS und JOHNSON (2007) fest, dass einige untersuchte Materialien bezüglich ihrer Randdichtigkeit beeinflusst wurden, andere nicht (OWENS und JOHNSON 2007).

SHINOHARA et al. (2001) wendeten Natriumperborat und 37%iges Carbamidperoxid an Rinderzähnen im Sinne der Walking-Bleach-Technik an. Im Schmelzbereich zeigten sich keine signifikanten Unterschiede zwischen der Randdichtigkeit der Kontrollgruppe und den Versuchsgruppen. Im Dentin hingegen fand sich ein deutlich negativer Einfluss der Bleichagenzien.

Eine Erklärung für den negativen Einfluss des Bleichens könnte eine rasterelektronenmikroskopische Studie über den Verbund von Rinderschmelz und Komposit nach dem Bleichen liefern (TITLEY et al. 1991). Der Schmelz wurde mit 35%igem Hydrogenperoxid behandelt, dann mit 37%iger Phosphorsäure konditioniert und mit Kompositfüllungen versehen. Im Vergleich zu einer Kontrollgruppe konnte nachgewiesen werden, dass nach der Bleichbehandlung die adhäsiven Strukturen kürzer, weniger ausgeprägt, dünner und strukturell inkomplett waren.

Insgesamt lässt sich also nicht ausschließen, dass sich die Randdichtigkeit von Kompositfüllungen nach dem Bleichen verändert. Diese Gefahr ist besonders im Dentin gegeben. Dies gilt für das Bleichen vor und nach dem Legen von Kompositfüllungen. Verschiedene Autorengruppen empfehlen daher, mindestens 7 Tage zwischen den Behandlungen abzuwarten (TEIXEIRA et al. 2003, TURKUN und TURKUN 2004 und CAVALLI et al. 2001).

### **2.8.5 Schmelz- und Dentinhaftung**

Auch die Haftstärke von Komposit an Schmelz und Dentin war Gegenstand von Untersuchungen. Da SILVA et al. (2007) verwendeten verschiedene

Bleichprodukte und fanden heraus, dass sich die Haftstärke produktabhängig verschlechtert oder unverändert bleibt.

Die bereits erwähnten Studien über Zusammenhänge zwischen dem Bleichen und der Randedichtigkeit von Kompositfüllungen zeigen auch, dass die Haftstärke der Füllungen innerhalb der ersten zwei Wochen nach dem Bleichen stark herabgesetzt ist (TEIXEIRA et al. 2004, TURKUN und TURKUN 2004 und CAVALLI et al. 2001). Nach Verstreichen von drei Wochen erreichten die Haftwerte wieder die Werte der Kontrollgruppe. Die Autoren unterstreichen die Wichtigkeit des Abwartens einer gewissen Zeit nach dem Bleichen und vor dem Legen von neuen Füllungen. Eine höhere Konzentration des Wirkstoffes hat dabei keinen Einfluss auf die Zeit zwischen Bleichen und dem Erreichen von normalen Haftstärken (CAVALLI et al. 2001).

Die klinische Schlussfolgerung hieraus ist, dass nach einer Bleichbehandlung immer mindestens ein bis zwei Wochen verstreichen sollten, bevor neue Füllungen gelegt werden.

## **2.9 Nebenwirkungen, Komplikationen und Sicherheit**

Eine klinisch häufiger auffallende Reaktion der Pulpa, welche in der Regel reversibel ist, besteht in dem Auftreten von Hypersensibilitäten. Allerdings ist die Literaturlage hierzu nicht eindeutig. So untersuchten DELIPERI et al. (2004) den Einfluss von 35%igem und 38%igem Hydrogenperoxid auf die Farbveränderung und auf die Sensibilität der behandelten Zähne. Außerdem verwendeten sie 10%iges Carbamidperoxid. Nach keinem der drei verwendeten Bleichmittel konnte eine erhöhte Sensibilität festgestellt werden (DELIPERI et al. 2004).

ALMAS et al. (2003) untersuchten die Nebenwirkung eines 10%igen Carbamidperoxides, angewendet als Home-Bleaching. Nur zwei der 18 untersuchten Patienten berichteten von einer erhöhten Sensibilität der Zähne (ALMAS et al. 2003). Mehrere andere Studien hingegen zeigten eine signifikant erhöhte Sensibilität nach Anwendung von Bleichlacken mit 35%igem Carbamidperoxid oder mit 10%igem Carbamidperoxid (ZIEBOLZ et al. 2008, BARNES et al. 1998, ZIEBOLZ et al. 2007 und PETRASZ 2003).

In einer Doppelblindstudie mit einem Placebo, einem 10%igen und einem 16%igen Carbamidperoxidgel wird interessanterweise beschrieben, dass 20% der Testpersonen eine erhöhte Sensibilität spürten, nachdem sie die Schienen ohne Gel getragen hatten. Allerdings berichteten 36% der Placeboanwender von dem gleichen Ergebnis (LEONARD et al. 2002). Eine weitere Studie beschäftigt sich mit Möglichkeiten, die Übersensibilitäten bereits beim Bleichen zu reduzieren (TAM 2001). Die Autoren betrachteten den Effekt von einem 10%igen Carbamidperoxidgel mit zusätzlich enthaltenen Fluoriden und Kalium. Die Testpersonen sollten die subjektiv gefühlte Veränderung der Zahnsensibilität auf einer visuellen analogen Skala eintragen. Es wurde festgestellt, dass der Zusatz von Fluoriden und Kalium zu der Bleichagenzie das Auftreten von Sensibilität deutlich senken konnte, wobei es keinen Einfluss auf den Bleicheffekt gab (TAM 2001).

Über die mit dem Bleichen verbundenen, in der Regel vorübergehenden Begleiteffekte wie erhöhte Sensibilität oder Veränderungen an der Oberfläche von Zähnen, Weichgeweben oder Füllungen hinaus können jedoch, wenn auch selten, gravierendere unerwünschte Nebenwirkungen auftreten. Hierzu zählen vor allem zervikale Resorptionen als eine Form von Wurzelresorptionen (HEITHERSAY et al. 1994). Allerdings finden sich in der Literatur Studien mit unterschiedlichen Ergebnissen. HEITHERSAY (1999) evaluierte Prädispositionsfaktoren für zervikale Wurzelresorptionen. Dazu wurden Patienten mit zervikalen Resorptionen untersucht. 4,5% der betrachteten Resorptionen waren mit intrakoronalem Bleichen verbunden, 10,4% konnten in Zusammenhang mit Traumata und/oder kieferorthopädischen Behandlungen gebracht werden.

In einer weiteren Studie konnte ein Zusammenhang von Traumata und Wurzelresorptionen nach Bleichbehandlung aufgezeigt werden (HEITHERSAY et al. 1994). Hierzu wurden nach 1-19 Jahren 204 Zähne nachuntersucht, die in vivo nach einer endodontischen Therapie mit 30%igem Hydrogenperoxid und mittels der thermokatalytischen Methode behandelt worden waren. 2% der Zähne wiesen zervikale Resorptionen auf. Alle diese Zähne hatten eine Trauma- Vorgeschichte.

Eine histologische und radiologische Studie an Hundezähnen stellte 3 Monate nach dem Bleichen mit 30%igem Hydrogenperoxid, verwendet mit

der Walking-Bleach-Technik ohne Anwendung von Wärme, Wurzelresorptionen fest (HELLER et al.1992). Auch ROTSTEIN et al. (1991) stellten mit dem zuvor genannten Versuchsaufbau zervikale Resorptionen bei 18% der untersuchten Hundezähne fest.

Andere Studien hingegen (AMATO et al. 2006, LOGUERCIO et al. 2002 und LOGUERICO et al. 2002) bestreiten einen Zusammenhang zwischen der Verwendung von Bleichagenzien und Wurzelresorptionen.

In jedem Fall sollte heute nicht mehr die thermokatalytische Methode angewendet werden, da nach der Verwendung des hochkonzentrierten Wasserstoffperoxides und der Anwendung von Hitze vermehrt Wurzelresorptionen beobachtet wurden (ROTSTEIN et al. 1992; ATTIN 2001).

Als Gegenstand von weiteren Studien findet sich die zytotoxische und kanzerogene Beurteilung von Bleichagenzien. Die Zytotoxizität von 10 und 15%igem Carbamidperoxidgel, einem Placebo und reinem Carbamidperoxid auf menschliche Endothelzellen wurde von TSE et al. (1991) untersucht. Kolormetrische Tests ergaben, dass das Placebo nicht zytotoxisch wirkte, wohingegen die anderen drei Teststoffe zytotoxischen Einfluss besaßen. Zwischen den drei aktiven Bleichgelen gab es keine erkennbaren Unterschiede, so dass sich das Carbamidperoxid für die Zytotoxizität verantwortlich machen lässt. Der Einfluss ist jedoch so gering, dass er durch Reparaturprozesse des Körpers kompensiert werden kann und in vivo keine Rolle spielt (TSE et al. 1991).

MUNRO et al. (2006) überprüften in Tierversuchen bleichende Substanzen bezüglich kanzerogener Effekte. Sie stellten fest, dass Hydrogenperoxide und Carbamidperoxide nicht kanzerogen wirken. Dies gilt für die Verwendung bei allen Personen, so prinzipiell auch bei Kindern, und auch bei Rauchern. Dies ist von Bedeutung, da Zahnaufhellungen oft von Rauchern gewünscht werden. Auch bei Risikogruppen wie Alkoholikern ist durch Bleichgele kein kanzerogener Effekt zu erwarten (MUNRO et al. 2006).

## 2.10 Einordnung der vorliegenden Fragestellung

Die Bedeutung von Studien zum Thema Bleichen ergibt sich aus dem gesteigerten ästhetischen Bewusstsein der Menschen und den daher häufiger durchgeführten Bleichbehandlungen. Dabei muss jedoch auch größter Wert auf den Erhalt der Zahngesundheit gelegt werden, um die Funktionalität und Vitalität der Zähne zu gewährleisten. Da die meisten Patienten Kompositfüllungen besitzen, welche im Zuge des Bleichens ebenfalls aufgehellt werden, ist die Überprüfung des Effektes der bleichenden Agenzie auf die Kompositfüllung von großem klinischem Interesse.

Es wurden bereits mehrere Untersuchungen zu Randdichte von adhäsiv befestigten Kompositen unter Einfluss von Bleichagenzien veröffentlicht (TEIXEIRA et al. 2003; TURKUN und TURKUN 2004, CRIM 1992, ULUKAPI et al. 2003, BARKHORDAR et al. 1997, TITLEY et al. 1988, TORNECK et al. 1990 und SHINOHARA et al. 2001 ). Dabei wurde dann ein negativer Einfluss beobachtet, wenn die Füllungen innerhalb von 7 Tagen nach dem Bleichvorgang gelegt wurden. Beim Patienten finden sich jedoch oft schon Kompositfüllungen, bevor mit dem Aufhellen begonnen wird. Diese Situation soll in der vorliegenden Studie berücksichtigt werden. Zunächst sollen die Füllungen gelegt werden, das Bleichen und die künstliche Alterung erfolgen in unterschiedlicher Reihenfolge im Anschluss.

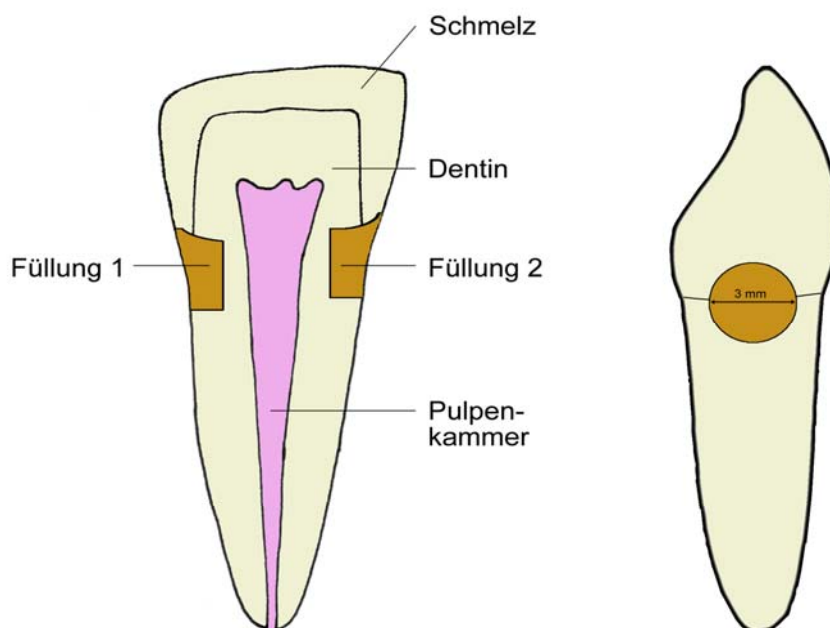
Außerdem liegen im Patientenmund häufig schon ältere, bereits lang beanspruchte Füllungen vor. Auch dem soll in der vorliegenden Studie Rechnung getragen werden, indem auch der Einfluss einer künstlichen Alterung evaluiert wird. Damit sollen dem klinischen Alltag entnommene Parameter in die Bewertung des Effektes von Bleichmitteln auf die Randdichtigkeit von Kompositfüllungen einfließen, um weitere Aussagen über mögliche Risiken für die Gesunderhaltung der Zähne durch Bleichvorgänge treffen zu können.



## 3 Material und Methoden

### 3.1 Vorbereitung der extrahierten Zähne, Präparation und Kompositapplikation

Für die Studie wurden 70 extrahierte Frontzähne verwendet. Die karies- und füllungsfreien Zähne wurden vorsichtig mit einem Scaler (S204SD, Hu-Friedy Inc., Leimen, Deutschland) von Zahnstein, Konkrementen und Geweberesten befreit. Die Zähne wurden bei Zimmertemperatur in 0,9%iger Natriumchloridlösung (Baxter, Brüssel, Belgien) gelagert.



**Abb. 3-1 Schematische Darstellung der Füllungen**

In jeden Zahn wurden zwei Kavitäten präpariert, so dass insgesamt 140 Füllungen gelegt und beurteilt werden konnten. Die Klasse-V-Kavitäten wurden approximal so präpariert, dass die Hälfte der Füllung im Schmelz und die andere Hälfte im Dentin lag. Der Durchmesser der Kavitäten betrug  $3 \pm 0,5\text{mm}$ , die Tiefe  $1,5 \pm 0,5\text{mm}$ . Tiefe und Durchmesser wurden mit

einer skalierten PA-Sonde (PCP-12, Hu-Friedy Mfg. Co., Inc., Leimen, Deutschland) kontrolliert und visuell auf Fehlerhaftigkeit untersucht. Im Schmelz wurde eine Ansträgung von ca. 0,5mm vorgenommen. Präpariert wurde unter Wasserkühlung mit einem Diamantenset (Komet, Lemgo, Deutschland) mit einem roten Winkelstück.



**Abb. 3-2 Approximale Füllung an einem kariesfreien Frontzahn**

Vor der Anwendung des Adhäsivsystems wurden die Zähne mit Wasser abgespült und mit einem sanften Luftstrahl getrocknet. Verwendet wurde der lichthärtende, selbstätzende und selbstkonditionierende Haftvermittler Contax (DMG-Hamburg, Deutschland), welcher für Schmelz und Dentin verwendet werden kann. Der Gebrauchsinformation folgend wurden Primer und Bonding nacheinander aufgetragen, 20 Sekunden Einwirkungszeit eingehalten und dann das Bonding mit einer Polymerisationslampe (Optilux 250, Demetron research Corp., Hanau, Deutschland) ausgehärtet. Für die Füllung wurde ein lichthärtendes Hybridkomposit (EcuSphere-Carat, DMG-Hamburg, Deutschland) verwendet. Das Kompositmaterial wurde mit dem Nyström Instrument (Fa. Schwert, Tuttlingen, Deutschland) blasenfrei in zumeist zwei Schichten in die Kavität eingebracht. Nach jeder Schicht erfolgte die Aushärtung mit der Polymerisationslampe. Größere Überstände wurden mit einem Diamantfinierer (Komet, Lemgo, Deutschland) entfernt. Die Politur erfolgte mit Polierkörpern (Diacomp II, Komet, Lemgo,

Deutschland) und dann mit Polierscheiben (SuperSnap L 507, L 519, L 521 und L 522, Shofu Ratingen, Deutschland). Visuell wurden Füllung und Füllungsrand auf überstehende Ränder, Blasen und andere Imperfektionen untersucht.

### 3.2 Versuchsgruppen

Die gefüllten und polierten Zähne wurden randomisiert auf 7 Gruppen verteilt. Neben einer nicht weiter behandelten Kontrollgruppe lagen 2 x drei Untersuchungsgruppen vor, die sich bezüglich der Reihenfolge von Alterung und Bleichvorgang und den verschiedenen Bleichgelanwendungen unterschieden. Tabelle 3-1 fasst die Vorgehensweise in den Untersuchungsgruppen zusammen.

Gruppe 1	Präp., Füllungs- legung	Lagerung NaCl 0,9%			Fixierung	Farbstoff- penetration
Gruppe 2	Präp., Füllungs- legung	Lagerung NaCl 0,9%	Thermo- cycling	Placebogel	Fixierung	Farbstoff- penetration
Gruppe 3	Präp., Füllungs- legung	Lagerung NaCl 0,9%	Thermo- cycling	10%iges Carbamid- peroxidgel	Fixierung	Farbstoff- penetration
Gruppe 4	Präp., Füllungs- legung	Lagerung NaCl 0,9%	Thermo- cycling	38%iges Hydrogen- peroxidgel	Fixierung	Farbstoff- penetration
Gruppe 5	Präp., Füllungs- legung	Lagerung NaCl 0,9%	Placebogel	Thermo- cycling	Fixierung	Farbstoff- penetration
Gruppe 6	Präp., Füllungs- legung	Lagerung NaCl 0,9%	10%iges Carbamid- peroxidgel	Thermo- cycling	Fixierung	Farbstoff- penetration
Gruppe 7	Präp., Füllungs- legung	Lagerung NaCl 0,9%	38%iges Hydrogen- peroxidgel	Thermo- cycling	Fixierung	Farbstoff- penetration

Tab. 3-1 Maßnahmen in den verschiedenen Versuchsgruppen

### 3.3 Thermozyklische Wechselbelastung

Zur künstlichen Alterung der Zähne wurde ein Thermocycler verwendet (RMT/RM6 Canda und Cycle Control). Zwei Bäder sowie der Nachfüllbehälter des Thermocyclers wurden mit destilliertem Wasser gefüllt. Die thermozyklische Wechselbelastung betrug 5000 Zyklen. Bei jedem Zyklus wurden die Proben jeweils 30s in einem 55°C warmen Wasserbad gelagert und nach einer Abtropfzeit von 30s für weitere 30s in ein 5°C kaltes Wasserbad getaucht.

### 3.4 Bleichen

Für das Bleichen standen drei verschiedene Gele zur Verfügung. Als Placebo wurde ein Gel ohne aktiven H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-Anteil verwendet (DENTSPLY De Trey, Konstanz, Deutschland). Eines der beiden aktiv wirksamen Bleichgele enthielt 10% Carbamidperoxid (Illumine home 10%, DENTSPLY De Trey, Konstanz, Deutschland) und eines 38% Hydrogenperoxid (Opalescence Xtra Boost, Ultradent, München, Deutschland).

Das Placebo- und das 10%ige Gel wurden in einem dünnen, deckenden Film auf Füllung und umgebende Hartschicht aufgetragen. Dann wurde jeder Zahn einzeln in Frischhaltefolie luftdicht eingewickelt, um eine Bleichschiene zu simulieren. Nach 8 Stunden wurde das Gel unter fließendem Wasser abgewaschen, und die Zähne wurden wieder ins Lagermedium überführt. Nach 24 Stunden erfolgte die Behandlung erneut. So wurden die Proben über einen Zeitraum von zwei Wochen für jeweils 8 Stunden pro Tag gebleicht.

Die Behandlung mit der 38%igen Bleichagenzie erfolgte nach Herstellerangaben. Das Gel wurde in einem dünnen, deckenden Film aufgetragen und alle 5 Minuten bewegt. Nach 15 Minuten wurde das Gel unter fließendem Wasser abgewaschen. Dieser Vorgang fand, wie in der Packungsbeilage für ein mittleres Aufhellungsergebnis angegeben, dreimal statt.

### 3.5 Fixierung

Nach dem Bleichen und der thermozyklischen Wechselbelastung wurden die Zähne für 24 Stunden in 5%igem Glutardialdehyd fixiert, um einer Denaturierung der Proteine vorzubeugen und somit den Zustand nach Füllungslegung und entsprechender Behandlung zu erhalten. Um alle Reste der Fixierlösung zu entfernen bzw. zu neutralisieren, wurden die Proben anschließend dreimal für jeweils 1 Stunde mit 0,1M Natrium-Phosphatpuffer (pH 7,2) gespült.

### 3.6 Farbstoffpenetrationstest

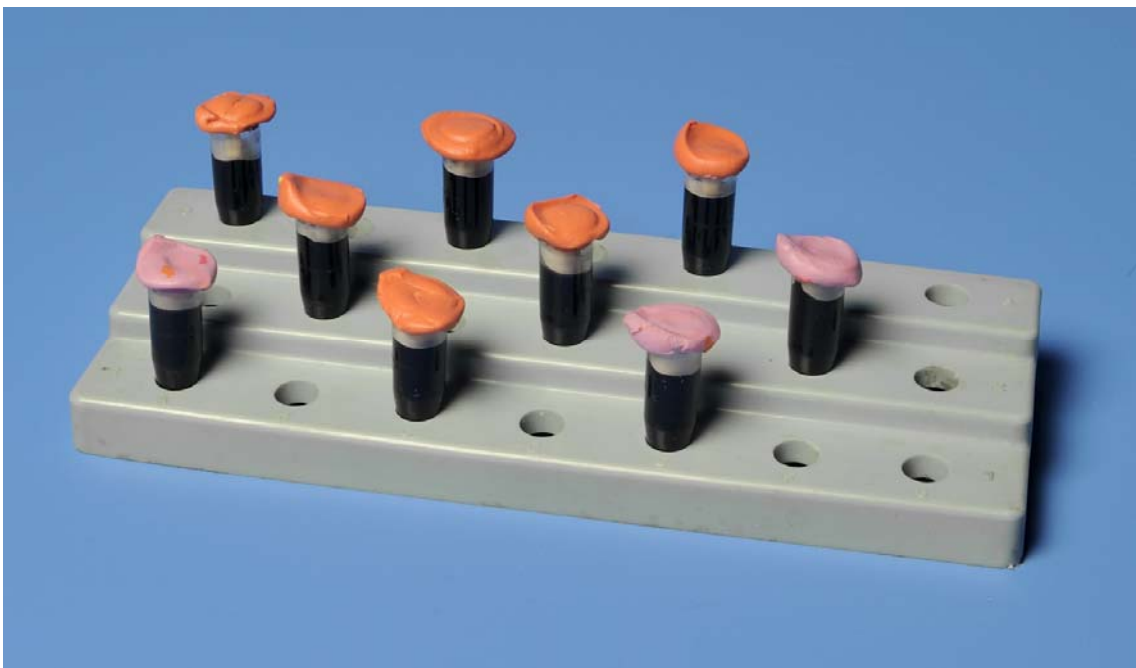
Zur Überprüfung der Randedichtigkeit wurde ein Farbstoffpenetrationstest durchgeführt, bei welchem nach Einwirken eines Farbstoffes dessen Eindringen zwischen Zahn und Füllmaterial lichtmikroskopisch an dünnen Schnitten beurteilt werden konnte.

Um ein unerwünschtes Penetrieren des Farbstoffes durch Schmelzrisse oder den Apex zu vermeiden, wurden die nicht für die Fragestellung relevanten Teile der Proben versiegelt (Abbildung 3-3). Dazu wurde im Abstand von 1mm zur Füllung eine dünne Schicht Fissurenversiegler (Fissurit, Voco, Cuxhaven, Deutschland) aufgetragen und mit einer Polymerisationslampe ausgehärtet (Optilux 250, Demetron Research Corp., Hanau, Deutschland).



Abb. 3-3 Versiegelung der Proben

Zur Darstellung der Penetrationstiefe wurde eine 1%ige Lösung des Farbstoffes Neutralrot (pH 6,8-8,0, Carl Roth GmbH + Co., Karlsruhe, Deutschland) verwendet. Abbildung 3-4 zeigt, wie die Zähne über Kopf, mit Hilfe von handelsüblicher Kinderknete, für 24 Stunden bei 37°C (Wärmeschrank, Memmert, Schwabach, Deutschland) in die Lösung gehängt wurden. Die Reinigung erfolgte anschließend je Zahn 1 Minute lang durch Spülung mit destilliertem Wasser.



**Abb. 3-4 Farbstoffpenetration mit Neutralrot**

### **3.7 Herstellung der Dünnschliffe**

Zunächst wurden der inzisale Kronenbereich und die Wurzel jedes Zahnes abgetrennt, wobei der Abstand zur Füllung mindestens 1,5mm betrug. Diese verkleinerten Probenkörper wurden mit einer der beiden approximalen Füllungen nach unten auf einen Plexiglas-Objektträger (25x75x2mm, Dia plus, Oststeinbek, Deutschland) geklebt (Abbildung 3-5). Dazu wurde Bonding (Heliobond, Vivadent, FL-Schaan, Ellwangen, Deutschland) verwendet. Die vom Plexiglasträger weg zeigenden Füllungen

konnte mit einem Tropfen Bond vor dem Herausbrechen durch die Säge geschützt werden (Abbildung 3-6).



**Abb. 3-5 Zähne auf dem Objektträger vor der Herstellung der Längsschnitte**



**Abb. 3-6 Gefärbte Probe vor der Dünnschliffherstellung**

Aus den nun gut anfassbaren Proben ließen sich ca. 400µm dicke Längsschnitte mit Hilfe einer Bandsäge (EXAKT- Apparatebau, Norderstedt, Deutschland) herstellen. Auf jedem Schnitt waren beide Füllungen des Zahnes zu beurteilen. Es wurden durchschnittlich ca. 3 Schnitte pro Zahn gefertigt, die erneut auf Plexiglas-Objektträger (25x75x2mm, Dia plus, Oststeinbek, Deutschland) geklebt werden konnten. Die Schnitte wurden nun mit einer Dünnschliffmaschine (EXAKT-Apparatebau, Norderstedt, Deutschland) auf eine Stärke von ca. 200µm gebracht und poliert (Abbildung 3-7).

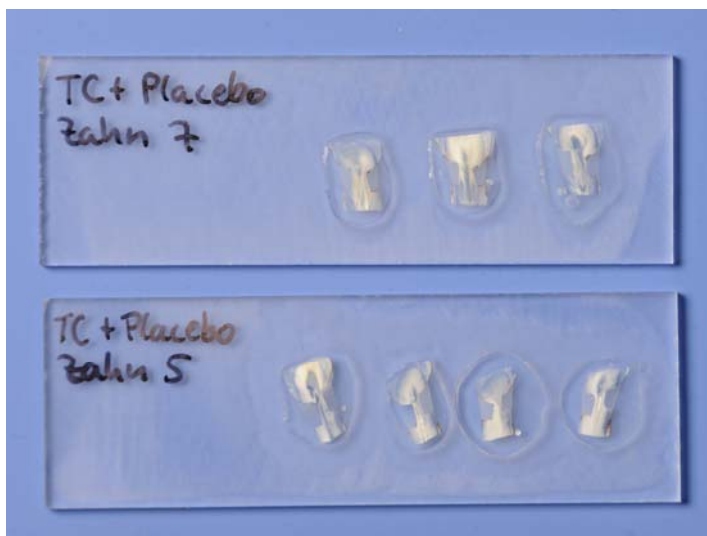
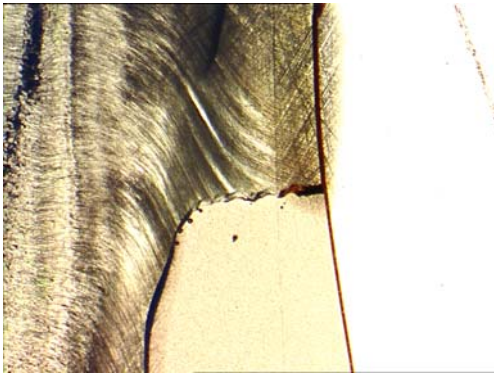


Abb. 3-7 Dünnschliffe auf dem Objektträger

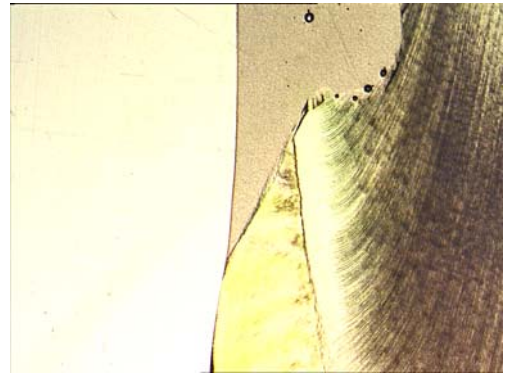
### 3.8 Auswertung der Farbstoffpenetrationsprobe

Die Beurteilung der Farbstoffpenetrationstiefe erfolgte unter 2,5 facher Vergrößerung mit Hilfe eines Durchlicht-Mikroskops (Axiophot, Carl Zeiss, Göttingen, Deutschland). An das Mikroskop war eine Kamera (HV-C20A, Hitachi, Berlin, Deutschland) angeschlossen, sodass die Proben am PC durch die Programme GrapIT und Sigma Scan Pro 5 ausgewertet werden konnten. Die Farbstoffpenetration im Schmelz und Dentin wurde getrennt in µm ausgemessen. Die Abbildungen 3-8 bis 3-13 zeigen Beispiele vom Füllungsrand und von der Farbstoffpenetration.

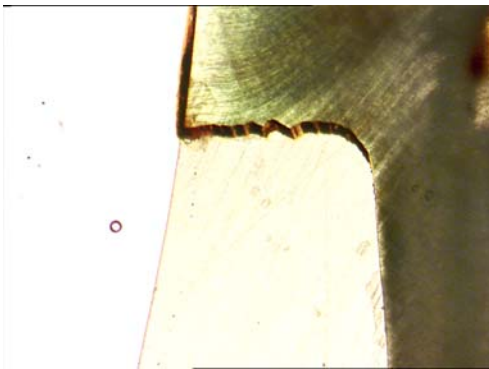




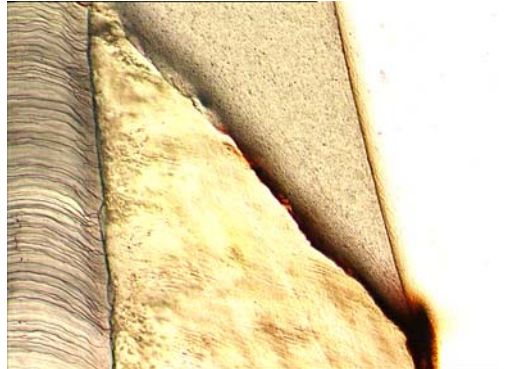
**Abb. 3-8 Geringfügige Farbstoffpenetration im Dentin**



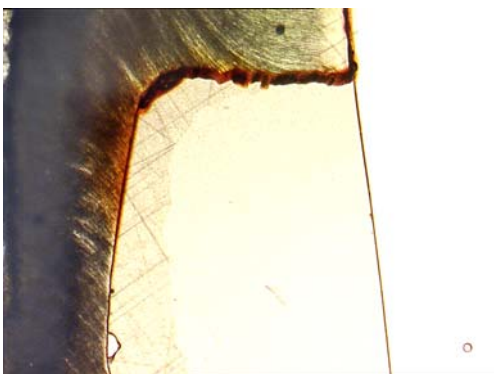
**Abb. 3-9 Keine Farbstoffpenetration im Schmelz**



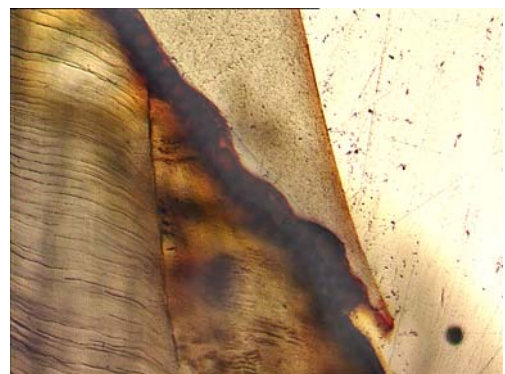
**Abb. 3-10 Mitteltiefe Farbstoffpenetration im Dentin**



**Abb. 3-11 Mitteltiefe Farbstoffpenetration im Schmelz**



**Abb. 3-12 Tiefe Farbstoffpenetration im Dentin**



**Abb. 3-13 Randspalt am Schmelz**

### 3.9 Statistische Auswertung

Die Messdaten der einzelnen Zahnschliffe wurden für jede Kavität gemittelt und in eine Exceltabelle überführt, von der sie zur statistischen Auswertung in das Programm SPSS 15.0 (SPSS GmbH, München, Deutschland) importiert wurden. Die Auswertung wurde getrennt für Schmelz und Dentin vorgenommen. Die Überprüfung der Messdaten auf Normalverteilung erfolgte mittels Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest. Die für die Farbstoffpenetration ermittelten Werte wiesen keine Normalverteilung auf, sondern waren schief verteilt. Um statistische Testverfahren wie eine Regressionsanalyse anwenden zu können, wurden die Messwerte daher logarithmiert. Diese Transformation ergab einen Datensatz mit normalverteilten logarithmierten Werten. Mittels der Regressionsanalyse wurde der Einfluss verschiedener Parameter auf das Penetrationsergebnis errechnet. Da neben der (durch getrennte Beurteilung im weiteren Verlauf der Auswertung berücksichtigten) Art der Zahnhartsubstanz (Dentin oder Schmelz) und den zu untersuchenden Parametern (Kombination von Bleichen und Thermocycling) auch die Tiefe der Füllung, d.h. die Füllungsrandlänge, einen Einfluss auf die Penetration aufwies, wurden die Daten für diesen Faktor adjustiert. Der statistische Vergleich zwischen den Untersuchungsgruppen erfolgte mittels Varianzanalyse (Anova) und damit verbundenen paarweisen Vergleichen (Post-hoc-Prozedur: LSD-Test). Das zur Feststellung statistisch signifikanter Unterschiede zu unterschreitende Signifikanzniveau wurde auf 0,05 festgelegt.

## 4 Ergebnisse

Untersucht wurde, ob die Verwendung von Bleichgelen mit verschiedenen konzentrierten Wirkstoffen einen Einfluss auf die Randdichtigkeit von Kompositfüllungen hat.

Dazu wurden in 70 füllungs- und kariesfreie Frontzähne jeweils 2 Kompositfüllungen gelegt. Die Verteilung der Proben erfolgte randomisiert auf sieben Versuchsgruppen mit jeweils 20 Proben, die in Tabelle 4-1 nochmals bezüglich der angewendeten Gele und der Reihenfolge von Alterung und Bleichvorgang in charakterisierenden Stichworten aufgelistet sind.

Gruppe	Wertelabel	N
1	Kontrollgruppe	20
2	Thermocycling dann Placebo	20
3	Thermocycling dann 10%	20
4	Thermocycling dann 38%	20
5	Placebo dann Thermocycling	20
6	10% dann Thermocycling	20
7	38% dann Thermocycling	20

**Tab. 4-1 Gruppen, Gruppen-Kurzbezeichnung und Anzahl der Proben**

Die einzelnen unter dem Lichtmikroskop erhaltenen Mikrometer-Werte der 140 Messungen sind im Anhang aufgelistet. Nach einer im Folgenden beschriebenen Aufbereitung der Rohdaten erfolgte die zwischen den Versuchsgruppen vergleichende statistische Auswertung der Farbstoffpenetration getrennt für Schmelz und Dentin. In Abschnitt 4.2

werden die Ergebnisse für den Schmelz dargestellt und in Abschnitt 4.3 finden sich die Ergebnisse für das Dentin.

## 4.1 Datenaufbereitung

Eine grafische Darstellung der Farbstoffpenetration im Schmelz findet sich in der Box-Plot-Darstellung von Abbildung 4-1. Es ist erkennbar, dass die Mediane aller Gruppen mit Ausnahme der Kontrollgruppe ungefähr bei der gleichen Penetrationstiefe liegen. Die höchsten Mediane wiesen die mit 10%igen Bleichgelen behandelten Gruppen auf (Gruppen 3 und 6).

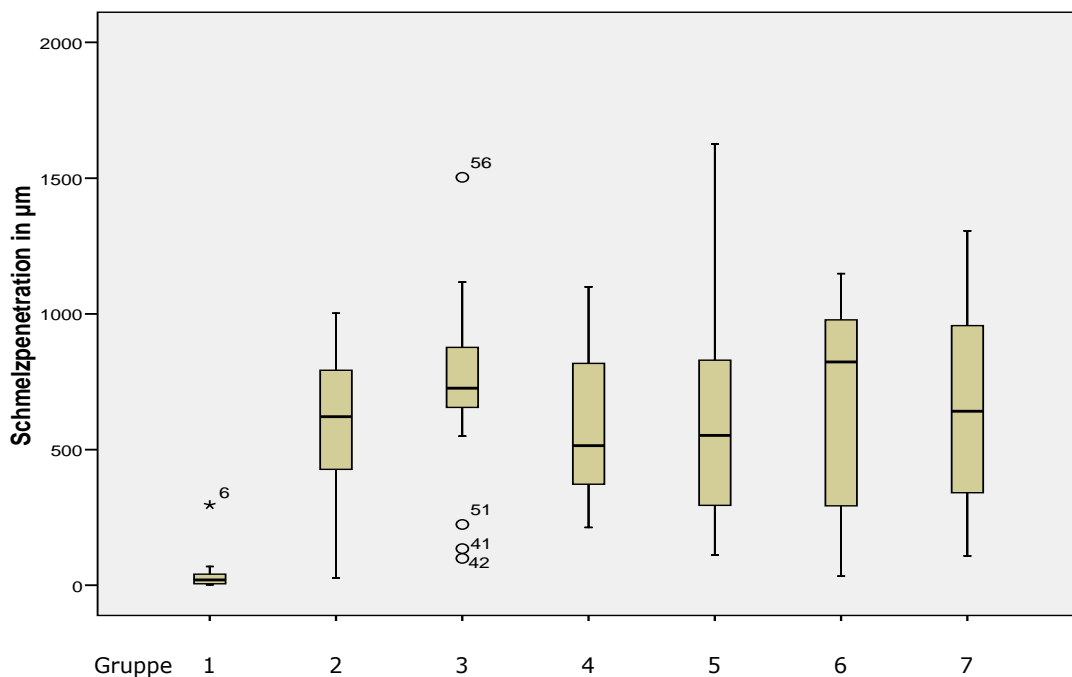
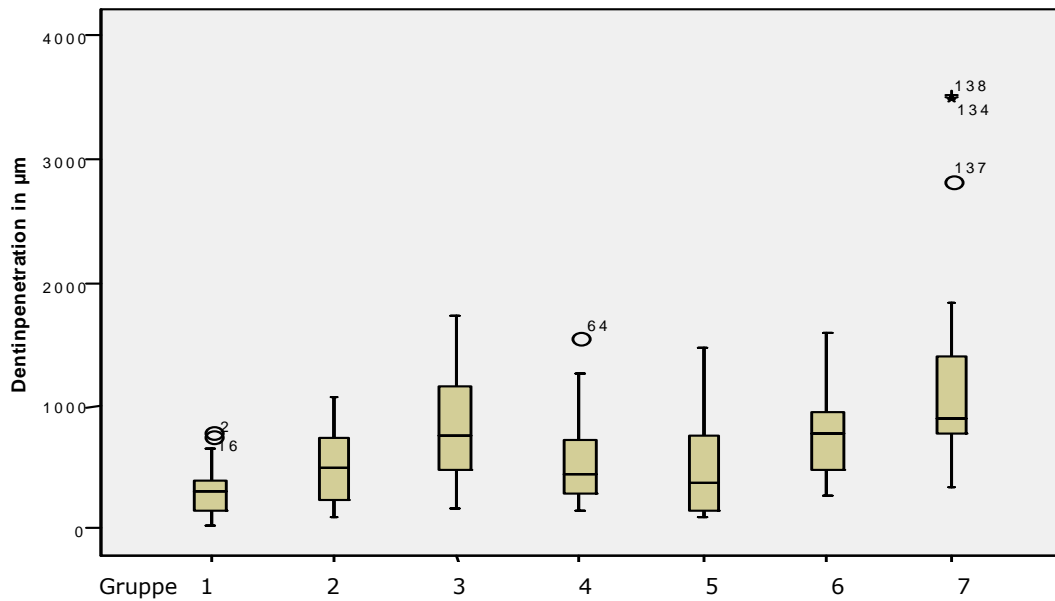


Abb. 4-1 Farbstoffpenetration im Schmelz ( $\mu\text{m}$ ), je Gruppe  $n = 20$

Eine entsprechende graphische Darstellung für die Farbstoffpenetration im Dentin ist in Abbildung 4-2 wiedergegeben. Aus beiden Abbildungen sind Charakteristika der Verteilung wie Mediane, Quartile sowie Ausreißer erkennbar. Im Vergleich der Penetrationstiefen sind die im Dentin bestimmten Eindringtiefen durchweg höher als die im Schmelz gefundenen Werte.



**Abb. 4-2 Farbstoffpenetration im Dentin (µm), je Gruppe n = 20**

Die Überprüfung der Messdaten auf Normalverteilung mittels Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest ergab für Dentin mit  $p = 0,012$  eine ungleiche Verteilung der Messwerte (Schmelz:  $p = 0,130$ ). Um eine Regressionsanalyse zur Bestimmung der die Penetrationstiefe signifikant beeinflussenden Parameter durchführen zu können, wurden die Messwerte logarithmiert und damit in eine Normalverteilung überführt. Tabelle 4-2 enthält die logarithmierten Penetrationstiefen-Mittelwerte für Schmelz und Dentin.

Gruppe	Schmelz	Dentin
Kontrollgruppe	2,845 ± 1,324	5,454 ± 0,979
Thermocycling dann Placebo	5,964 ± 1,130	5,991 ± 0,746
Thermocycling dann 10%	6,437 ± 0,682	6,550 ± 0,651
Thermocycling dann 38%	6,278 ± 0,491	6,083 ± 0,699
Placebo dann Thermocycling	6,116 ± 0,789	5,861 ± 0,851
10% dann Thermocycling	6,118 ± 1,184	6,530 ± 0,550
38% dann Thermocycling	6,255 ± 0,736	6,934 ± 0,637

**Tab. 4-2 Logarithmierte Penetrationstiefen-Mittelwerte mit Standardabweichung für Schmelz und Dentin**

---

Mit der Regressionsanalyse wurde überprüft, ob die jeweilige Länge des Kavitätenrandes im Schmelz bzw. im Dentin einen Einfluss auf die Eindringtiefe des Farbstoffes hat. Mit einem p-Wert von 0,065 für Zahnschmelz und 0,058 für Dentin konnte diese Annahme nicht hinreichend zurückgewiesen werden. Aus diesem Grunde wurden in einem weiteren Rechenschritt die Farbstoff-Penetrationstiefen für die jeweils mittlere Länge der Kavitätenwand im Schmelz bzw. Dentin adjustiert. Hierbei war die Verbundstrecke zwischen Schmelz und Komposit mit  $504,2 \mu\text{m} \pm 191,8 \mu\text{m}$  und zwischen Dentin und Komposit mit  $4749,3 \mu\text{m} \pm 454,5 \mu\text{m}$  (bei jeweils  $n = 140$ ) gemittelt worden. Auf diese Kavitätenwandlängen wurden alle Messwerte adjustiert. Mit den derart adjustierten logarithmisierten Messwerten, die in den folgenden Abschnitten wiedergegeben sind, wurden die statistischen Berechnungen zur Beurteilung signifikanter Unterschiede zwischen den Versuchsgruppen durchgeführt.

## 4.2 Auswertung im Schmelz

Tabelle 4-3 stellt die adjustierten logarithmierten Mittelwerte der Farbstoffpenetration im Schmelz jeder Versuchsgruppe mit dem 95%-Konfidenzintervall dar.

Gruppe	Mittelwert und Standardabw.	95%-Konfidenzintervall	
		Untergrenze	Obergrenze
Kontrollgruppe	2,932 ± 1,132	2,506	3,358
Thermocycling dann Placebo	5,953 ± 1,130	5,537	6,369
Thermocycling dann 10%	6,459 ± 0,682	6,042	6,875
Thermocycling dann 38%	6,259 ± 0,491	5,843	6,675
Placebo dann Thermocycling	6,044 ± 0,789	5,621	6,467
10% dann Thermocycling	6,100 ± 1,184	5,683	6,516
38% dann Thermocycling	6,267 ± 0,736	5,851	6,683

**Tab. 4-3 Adjustierte logarithmierte Mittelwerte ( $\mu\text{m}$ ) der Farbstoffpenetration im Schmelz mit Standardabweichung und 95%-Konfidenzintervall**

Zur Überprüfung von signifikanten Differenzen zwischen jeweils zwei der Untersuchungsgruppen wurde eine Varianzanalyse mit nachfolgenden paarweisen Vergleichen aller Untersuchungsgruppen (Post-hoc-Prozedur: LSD-Test) durchgeführt. In Tabelle 4-4 sind als Ergebnis dieser statistischen Überprüfung die errechneten Irrtumswahrscheinlichkeiten  $p$  für die Hypothesen angegeben, dass die Gruppen sich signifikant voneinander unterscheiden.

Hier wird deutlich, dass sich die Farbstoffpenetration am Schmelz der Kontrollgruppe signifikant von derjenigen bei allen anderen Versuchsgruppen unterscheidet. Innerhalb der sechs Gruppen mit

Bleichanwendung wurde hingegen in keinem paarweisen Vergleich ein signifikanter Unterschied gefunden.

	Grp. 2	Grp. 3	Grp. 4	Grp. 5	Grp. 6	Grp. 7
Kontrollgruppe (1)	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Thermocycling dann Placebo (2)		0,092	0,305	0,762	0,622	0,292
Thermocycling dann 10% (3)			0,504	0,171	0,231	0,521
Thermocycling dann 38% (4)				0,472	0,593	0,978
Placebo dann Thermocycling (5)					0,851	0,459
10% dann Thermocycling (6)						0,575

**Tab. 4-4 Irrtumswahrscheinlichkeiten p zum jeweils paarweisen Vergleich der Versuchsgruppen im Schmelz (Varianzanalyse mit post-hoc durchgeführtem LSD-Test)**



### 4.3 Auswertung im Dentin

Tabelle 4-5 stellt die logarithmisierten Mittelwerte der Farbstoffpenetration im Dentin jeder Versuchsgruppe mitsamt dem 95%-Konfidenzintervall dar.

Gruppe	Mittelwert und Standardabw.	95%-Konfidenzintervall	
		Untergrenze	Obergrenze
Kontrollgruppe	5,525 ± 0,979	5,191	5,858
Thermocycling dann Placebo	5,873 ± 0,746	5,525	6,220
Thermocycling dann 10%	6,587 ± 0,652	6,259	6,914
Thermocycling dann 38%	6,124 ± 0,699	5,796	6,452
Placebo dann Thermocycling	5,823 ± 0,851	5,495	6,151
10% dann Thermocycling	6,526 ± 0,550	6,201	6,851
38% dann Thermocycling	6,945 ± 0,637	6,620	7,271

**Tab. 4-5 Adjustierte logarithmisierte Mittelwerte ( $\mu\text{m}$ ) der Farbstoffpenetration im Dentin mit Standardabweichung und 95%-Konfidenzintervall**

In Tabelle 4-6 sind die Irrtumswahrscheinlichkeiten  $p$  der jeweiligen paarweisen Gruppenvergleiche, errechnet mittels Varianzanalyse und LSD-Test, wiedergegeben. Ein mindestens signifikanter Unterschied wurde zwischen der Kontrollgruppe und allen Versuchsgruppen, die im Weiteren mit einem Bleichgel behandelt worden waren, gefunden. Zwischen der Kontrollgruppe und den mit einem Placebo behandelten Gruppen (Gruppe 2 und 5) konnte dies jedoch nicht festgestellt werden. Auch die beiden Placebogruppen unterschieden sich statistisch nicht voneinander.

	Grp. 2	Grp. 3	Grp. 4	Grp. 5	Grp. 6	Grp. 7
Kontrollgruppe (1)	0,171	< 0,001	0,011	0,215	< 0,001	< 0,001
Thermocycling dann Placebo (2)		0,004	0,310	0,834	0,007	< 0,001
Thermocycling dann 10% (3)			0,049	0,002	0,795	0,126
Thermocycling dann 38% (4)				0,204	0,088	0,001
Placebo dann Thermocycling (5)					0,003	< 0,001
10% dann Thermocycling (6)						0,074

**Tab. 4-6 Irrtumswahrscheinlichkeiten p zum jeweils paarweisen Vergleich der Versuchsgruppen im Dentin (Varianzanalyse mit post-hoc durchgeführtem LSD-Test)**

Die beiden Gruppen, die in unterschiedlicher Reihenfolge mit Thermocycling und 10%igem Bleichgel behandelt worden waren (Gruppe 3 und Gruppe 6) wiesen keinen signifikanten Unterschied auf. Hingegen war für die beiden Gruppen, die in unterschiedlicher Reihenfolge mit Thermocycling und 38%igem Bleaching behandelt worden waren, am Dentin eine hochsignifikant differierende Penetrationstiefen des Farbstoffes zu beobachten (Gruppe 4 und 7).

Schließlich wurde beim Vergleich der Messwerte von Gruppe 5 („Placebo dann Thermocycling“) zu Gruppe 6 („10%iges Bleichgel dann Thermocycling“) und 7 („38%iges Bleichgel dann Thermocycling“) jeweils ein mindestens signifikanter Unterschied gefunden.

---

## 5 Diskussion

Für die Behandlung der Zähne mit Bleichsubstanzen besteht in der Regel keine medizinische Notwendigkeit. Dennoch werden derartige Verfahren immer häufiger angewendet. Hierzu trägt zum einen der Wunsch der Patienten nach hellerer Zahnfarbe bei, zum anderen mag auch von Bedeutung sein, dass es sich um ein relativ wenig invasives Vorgehen handelt.

Im Zuge solch einer Behandlung ist es wichtig, dass die orale Gesundheit in keiner Weise beeinträchtigt wird. Ein Gesichtspunkt hierbei ist, dass die Bleichbehandlung nicht dem Auftreten von kariösen Primär- oder Sekundärläsionen Vorschub leisten darf. Sofern Bleichgele den Randbereich einer Kompositfüllung negativ beeinflussen, kann es dort zu vermehrter Bakterienanlagerung oder Penetration in einen Randspalt kommen. So könnte nach einer Bleichbehandlung vermehrt Sekundärkaries auftreten.

Diese Fragestellung soll mit der vorliegenden Studie bearbeitet werden. Besonderes Augenmerk legt die Studie auf den Faktor „Zeit“, der die Füllungsqualität im Randbereich mit beeinflussen kann. Dabei soll einerseits der Randbefund von gealterten Kompositfüllungen nach anschließender Bleichbehandlung untersucht werden, andererseits von Füllungen, die nach dem Bleichen gealtert wurden. Experimentell soll der Faktor „Zeit“ - die Alterung - dadurch umgesetzt werden, dass vor oder nach dem Bleichen die mit Füllungen versehenen Zähne thermozyklisch künstlich gealtert werden.

### 5.1 Diskussion der Methodik

Bei der Auswahl der zur Probenherstellung verwendeten extrahierten Zähne wurde auf Karies- und Füllungsfreiheit Wert gelegt, damit der Penetrationsfarbstoff nicht an anderer als der zu überprüfenden Stelle eindringen konnte. Hierfür kamen also nur aus parodontalen Gründen extrahierte Frontzähne in Frage, deren Verfügbarkeit relativ gut war. Eine Voraussetzung für die Verwendung war, dass die Zähne zuvor weder in

Formalin, Alkohol noch  $H_2O_2$  gelagert wurden, aber auch nicht ausgetrocknet waren.

Bei der Füllungslegung wurde großer Wert auf die Anwendung der Materialien gemäß Herstellerangaben und auf die Entfernung aller Füllungsüberstände gelegt.

Nicht betrachtet wurde in dieser Untersuchung der Einfluss verschiedener Komposite und Haftvermittler. Dass hier Differenzen zu erwarten sind legt eine Studie nah, in der nicht alle verwendeten Bleichprodukte den Füllungsrand gleichermaßen veränderten (OWENS und JOHNSON 2007). Im Gegensatz zu der vorliegenden Arbeit fehlt in der genannten Studie allerdings der Aspekt älterer Füllungen, die beim Patienten meist vorhanden sind. Da sich auch die Haftstärken bei verschiedenen Produkten unterschiedlich stark verändern (Da SILVA et al. 2007), liegt die Annahme nah, dass es sich auch beim Randspaltverhalten von Kompositfüllungen verschiedener Hersteller ähnlich verhält. Dies macht die Durchführung weiterer Studien mit anderen Kompositen und Haftsystemen erforderlich.

Die thermozyklische Wechselbelastung zwischen einem  $5^\circ\text{C}$  kalten und einem  $55^\circ\text{C}$  warmen Wasserbad betrug 5000 Zyklen. Über die dieser Anzahl Zyklen klinisch entsprechende Zeitspanne, in welcher Kompositfüllungen dieser Wechselbelastung ausgesetzt sind, gehen die Einschätzungen weit auseinander. Während De MUNCK et al. (2005) zusammenfassen, 5000 Zyklen entsprächen in vivo einer Verweildauer von ca. sechs Monaten, vertreten FRANKENBERGER et al. (2007) die Auffassung, diese Anzahl an Zyklen simuliere 4 Jahre in vivo.

Die Bleichmaterialien wurden entsprechend der Hersteller-Angaben angewendet. So kam es zu einer unterschiedlichen Einwirkzeit, da das 10%ige Carbamidperoxidgel über einen Zeitraum von zwei Wochen 8 Stunden täglich aufgetragen wurde, während das 38%ige Hydrogenperoxidgel dreimal für 15 Minuten einwirken musste. Es ist anzunehmen, dass dies Einfluss auf die Ergebnisse hat (TURKUN et al. 2002). Es erscheint jedoch nicht sinnvoll, die Materialien anders einzusetzen, als sie in vivo verwendet werden.

Bei der Verwendung des 10%igen Gels wurde jeder Zahn einzeln in handelsübliche Frischhaltefolie eingewickelt. So konnte die in vivo verwendete Bleachingschiene simuliert werden.

Der Randdichtigkeit von Kompositfüllungen kommt in Bezug auf deren Dauerhaftigkeit eine zentrale Rolle zu. Um die Randdichtigkeit darzustellen, eignet sich besonders die Farbstoffpenetration. Bei dieser häufig eingesetzten Methode werden unterschiedliche Farbstoffe wie Rhodamin-B-Isotiozyanat, Methylenblau, Silbernitrat, Neutralrot, Eosin u.v.m verwendet (TITLEY et al. 1988; TORNECK et al. 1990; TORNECK et al. 1991; CRIM 1992; BARKHORDAR et al. 1997; TAMES et al. 1998; SHINOHARA et al. 2001; TEIXEIRA et al. 2003; ULUKAPI et al. 2003; OWENS und JOHNSON 2007; KLUKOWSKA et al. 2008; WHITE und GIBB 2008 sowie WHITE et al. 2008).

Im Rahmen der vorliegenden Studie wurden Vorversuche mit verschiedenen Farbstoffen gemacht. Zunächst wurde als Farbstoff 3-molare Silbernitratlösung mit pH 9,5 verwendet. Über Kopf hingen die Zähne für 24 Stunden in der Silbernitratlösung und verweilten dabei bei 37°C in einem dunklen Wärmeschrank (Memmert, Schwabach, Deutschland). Die Entwicklung erfolgte durch Einlegen der Zähne in Schwarz-Weiß-Film-Entwickler bei Zimmertemperatur. Darin verblieben sie für 8 Stunden unter UV-Lichtbestrahlung. Farbstoff und Entwickler wurden jeweils 1 Minute lang mit destilliertem Wasser abgespült. Die Verwendung von Silbernitrat, wie auch von ebenfalls überprüfem Eosin, gestaltete sich aber schwierig, da der Farbstoff auch durch Dentinkanälchen und etwaige Schmelzrisse penetrierte und so in die Pulpenhöhle gelangen konnte. Daraufhin war nicht mehr eindeutig festzustellen, ob der Farbstoff von extern über Randspalten oder von innen über die Pulpa eingedrungen war.

1%ige Neutralrot-Lösung eignete sich hingegen sehr gut, da der Farbstoff eine sehr gute Penetration besaß, die jedoch nur entlang der Füllungsänder auftrat. So war es möglich, die Auswertung unter einem Durchlichtmikroskop vorzunehmen, und die Eindringtiefe des Farbstoffes zu vermessen.

In verschiedenen Studien wurden die Eindringtiefen nicht exakt ausgemessen, sondern es wurden Kategorien gebildet. Eine öfter

angewendete Kategorisierung unterscheidet z.B. 0=keine Penetration, 1=Penetration bis 1/3 der Kavitätenwand, 2=Penetration bis 2/3 der Kavitätenwand, 3=Penetration bis zum Boden der Kavität und 4=ausgeprägte Penetration bis in den Bereich des Kavitätenbodens (KLUKOWSKA et al. 2008 und WHITE et al. 2008).

Diese Art der Auswertung erscheint jedoch weniger genau. Deshalb erfolgte die Angabe der Penetration in der vorliegenden Studie in Mikrometern. Dadurch bleibt jedoch zunächst der mögliche Einfluss unterschiedlicher Kavitätenrandlängen auf die Penetrationstiefe unberücksichtigt. Daher wurde die Annahme überprüft, ob in dieser Untersuchung die gemessenen Penetrationstiefen am Kavitätenrand auch von der Gesamtlänge des Kavitätenrandes abhängen. In der hierzu durchgeführten Regressionsanalyse wurde der zum Nachweis eines signifikanten Einflusses gesetzte  $\alpha$ -Wert von 0,05 für Zahnschmelz mit  $p = 0,065$  und für Dentin mit  $p = 0,058$  knapp verfehlt. Andererseits erscheint die Annahme der Gegenhypothese, dass ein derartiger Einfluss nicht bestände, nicht hinreichend abgesichert. Daher wurden die gemessenen Penetrationstiefen, um eine Verzerrung durch die unterschiedlichen Kavitätenrandlängen im Schmelz bzw. Dentin auszuschließen, auf den Mittelwert dieser Größen adjustiert.

Die Auswertung wurde getrennt für Schmelz und Dentin vorgenommen, um den unterschiedlichen Charakteren der Zahnhartsubstanzen Rechnung zu tragen. Die für die Farbstoffpenetration ermittelten Werte wiesen keine Normalverteilung auf, sondern waren schief verteilt. Um statistische Testverfahren wie eine Regressionsanalyse, welche eine Normalverteilung erfordern, anwenden zu können, wurden die Messwerte logarithmiert. So wurde eine Normalverteilung der Daten erreicht. Außerdem wurden die Daten durch die Logarithmierung gegen Ausreißer stabilisiert.

Zur statistischen Auswertung wurde schließlich eine Varianzanalyse mit anschließendem paarweisen Vergleich von jeweils zwei Untersuchungsgruppen durchgeführt.

Es bleibt kritisch zu betrachten, ob sich die Ergebnisse einer In-vitro-Studie ohne weiteres auf eine intraorale Situation übertragen lassen. So wurde beispielsweise weder der Einfluss von antioxidativ wirkenden Enzymen noch

vom Speichel allgemein, welcher die in vitro gefundenen negativen Effekte ausgleichen oder zumindest abmildern könnte, berücksichtigt. Ebenso wurde der adhäsive Verbund keinerlei mechanischen Belastungen ausgesetzt. Dennoch gilt das klinische Verhalten von adhäsiven Füllungsrandern auf der Grundlage von In-vitro-Testungen als vorhersagbar (FRANKENBERGER et al. 2007). Da der klinische Erfolg einer Restauration jedoch von weitaus mehr Faktoren als einzig dem Verhalten des Füllungsrandes abhängt, kann die Studie für weiter reichende Aussagen nur Anhaltspunkte liefern.

## **5.2 Diskussion der Ergebnisse**

### **5.2.1 Farbstoffpenetration im Schmelz**

Im Schmelzbereich sind deutliche Unterschiede zwischen der Kontrollgruppe und den übrigen Versuchsgruppen auszumachen. Zwischen den verschiedenen Untersuchungsgruppen hingegen konnten keinerlei statistisch signifikant differierende Farbstoff-Penetrationstiefen ermittelt werden. Daraus könnte gefolgert werden, dass das Bleichen hier keinen negativen Einfluss auf den adhäsiven Verbund hat, da die Farbstoffpenetrationswerte bei Anwendung von Placebo-Gelen wie auch von Gelen mit aktivem Wirkstoff gleich waren.

Die im Schmelz für alle Untersuchungsgruppen gegenüber der nicht behandelten Kontrolle signifikant schlechteren Penetrationstiefen zeigen, dass bereits das Thermocycling entscheidenden negativen Einfluss auf den Randbereich der Kompositfüllungen ausgeübt hat. Dies kann möglicherweise auf das verwendete selbstkonditionierende Adhäsivsystem bezogen werden. Diese Vermutung gründet sich auf Studien, in denen derartige Adhäsivsysteme untersucht wurden. FERRARI et al. (1997) verglichen das Konditionierergebnis selbstkonditionierender Adhäsivsysteme rasterelektronenmikroskopisch mit dem von Mehrflaschensystemen. Bei den Adhäsivsystemen, die ohne eine zusätzliche Konditionierung mit Phosphorsäure angewendet werden, wurde festgestellt, dass im Schmelz nicht die charakteristischen Strukturen entstehen, die für einen guten Schmelz-Komposit-Verbund nötig sind.

In einer weiteren Studie (LOPES et al. 2004) wurde die Schmelzhaftung von fünf selbstkonditionierenden Adhäsiven mit einem Mehrflaschensystem als Kontrollgruppe verglichen. Vier der fünf selbstkonditionierenden Systeme wiesen eine signifikant schlechtere Schmelzhaftung als das verwendete Mehrflaschensystem auf.

Dass die Qualität der adhäsiven Haftung materialabhängig ist, bestätigten auch PILO und BEN-AMAR (1999). Dies wird den Autoren zufolge vor allem im Schmelzbereich deutlich.

Es erscheint daher nahe liegend, die vergleichsweise schlechten Ergebnisse aller dem Thermocycling zugeführter Gruppen im Schmelzbereich mit der Verwendung des selbstkonditionierenden Adhäsivs in Verbindung zu bringen. Diese Annahme wird auch durch eine Studie von FRANKENBERGER et al. (1999) gestützt, die bei selbstkonditionierenden Systemen im Vergleich zu Mehrflaschensystemen eine mit zunehmender Anzahl thermozyklischer Belastungen überproportional zunehmende Verschlechterung der Randqualität dokumentiert hat.

Die in der vorliegenden Untersuchung wahrscheinliche prominente Rolle des Adhäsivsystems auf die Penetrationstiefen hat Konsequenzen für die Interpretation der Ergebnisse. Zwar wird im Zahnschmelz der Randspalt an Füllungen im Schmelz durch das Bleichen nicht weiter negativ beeinflusst. Auch die Konzentration des Bleich-Wirkstoffes erscheint ohne weitere Folgen auf die Randedichtigkeit der Füllungen. Angesichts der auffällig schlechten Randedichtigkeits-Befunde aller Gruppen nach dem Thermocycling dürfen hieraus jedoch keine voreiligen verallgemeinernden klinischen Schlüsse gezogen werden, denen zufolge das Bleichen auf den adhäsiven Verbund zum Schmelz ohne Konsequenzen sei.

### **5.2.2 Farbstoffpenetration im Dentin**

Im Dentin zeigt die Studie andere Ergebnisse als im Schmelz. So ist der Unterschied der Farbstoffpenetration zwischen der Kontrollgruppe und den übrigen Versuchsgruppen hier geringer als im Schmelz. Dennoch bestehen hier deutliche Unterschiede zwischen Kontrolle und einzelnen Testgruppen sowie zwischen verschiedenen Testgruppen untereinander. Vor allem wurde



gezeigt, dass sich die Kontrollgruppe signifikant von den mit aktivem Bleichgel behandelten Versuchsgruppen unterscheidet. Zu den beiden Placebogruppen hingegen wurde kein signifikanter Unterschied der Farbstoffpenetration in der Kontrollgruppe bestimmt. Somit können die Differenzen der Penetrationstiefen zwischen Kontrollgruppe und gebleichten Gruppen nur auf den Einfluss der Bleichgele zurückgeführt werden. Damit legt die Untersuchung einen negativen Einfluss der Bleichanwendung auf den adhäsiven Verbund im Dentin offen.

Die Studie differenziert, ob der adhäsive Verbund erst einer Alterung und dann den Bleichagenzien ausgesetzt wurde oder umgekehrt. Vergleicht man unter diesem Gesichtspunkt die beiden mit 10%igem Gel behandelten Gruppen miteinander (Gruppe 3 und 6), so liegt kein signifikanter Unterschied vor. Bei der Verwendung von 10%igem Carbamidperoxid macht es also keinen Unterschied, ob ältere Füllungen gebleicht werden, oder neue Füllungen gebleicht werden und diese Füllungen danach der Alterung ausgesetzt sind. Ein negativer Einfluss des Bleichens auf den Randbereich der Kompositfüllungen ist im Dentin in beiden Fällen gleichermaßen vorhanden.

Die Betrachtung der Ergebnisse bei den mit 38%igem Gel behandelten Gruppen ist etwas komplexer. Findet das Bleichen zuerst statt, unterscheidet sich die Farbstoffpenetration der Versuchsgruppe (Gruppe 7) hochsignifikant von der entsprechenden Placebogruppe (Gruppe 5,  $p < 0,001$ ), und die Werte der Penetration liegen mit  $p = 0,074$  auch deutlich höher als bei der dem 10%igen Gel ausgesetzten Gruppe (Gruppe 6). Hier trifft die angenommene Hypothese also zu, dass die Farbstoffpenetrationstiefe mit höher konzentrierten Bleichagenzien zunimmt. Die Alterung des Zahn-Füllung-Verbundes, experimentell durch das Thermocycling dargestellt, führt also, in Abhängigkeit von der Konzentration der Bleichsubstanz, zu verschiedenen gravierenden Effekten.

Findet im Gegensatz dazu erst das Thermocycling und dann das Bleichen mit 38%igem Gel statt (Gruppe 4), ergibt die statistische Auswertung andere Ergebnisse. Diese „38%-Gruppe“ unterscheidet sich nicht signifikant von der Placebogruppe (Gruppe 2,  $p = 0,310$ ). Die Farbstoffpenetration ist jedoch signifikant ( $p = 0,049$ ) geringer als in Gruppe 3 (Thermocycling

gefolgt von 10%igem Carbamidperoxid). Dieser Unterschied ist mit  $p < 0,05$  zwar rechnerisch signifikant, jedoch nur schwach ausgeprägt. So könnte in Betracht gezogen werden, dass es sich in diesem Grenzbereich um einen zufälligen Effekt handeln mag.

Es lässt sich jedoch auch eine Erklärung dafür finden, dass hier das 10%ige Gel größeren Schaden bewirken mag als das 38%ige Gel. Die Ursache kann in der erheblich längeren Einwirkzeit des Illumine 10% im Gegensatz zu der des Opalescence Xtra Boost 38% liegen. Diese Annahme wird durch eine Studie von BARKHORDAR et al. (1997) untermauert, in der gezeigt wurde, dass die Farbstoffpenetration höher ist, je länger die aktive Substanz einwirken kann. Auch TURKUN et al. (2002) bestätigten, dass die Oberflächenänderungen der Hartsubstanzen größer sind, wenn die Einwirkzeit des Gels länger ist. Wenn also das Bleichgel lange eingewirkt hat, kann im Zusammenhang mit vorausgegangener Alterung die Adhäsion stärker beeinträchtigt werden.

Dennoch bleibt das unter den getesteten Konstellationen besonders schlechte Abschneiden der Gruppe, in der das 38%ige Bleichgel angewendet und der Verbund anschließend gealtert wurde, ein wichtiges Ergebnis der Studie. 5000 Alterungszyklen nach dem Bleichen konnten hier weit reichende Randimperfectionen an den Kompositfüllungen festgestellt werden. Ein Erklärungsansatz ist, dass das hochkonzentrierte Bleichgel Angriffspunkte für den verstärkten Einfluss der Alterung schafft. Hieraus sind auch bei vorsichtiger Interpretation der In-vitro-Ergebnisse klinische Konsequenzen abzuleiten, die – zumindest in der verwendeten Kombination von Komposit, Adhäsiv und Bleichpräparat – eine Zurückhaltung bei der Anwendung von hochkonzentrierten Bleichgelen anmahnen.

Es muss jedoch eingeräumt werden, dass diese Ergebnisse in engem zeitlichen Zusammenhang von Füllungslegen und Bleichbehandlungen entstanden sind. Insbesondere im Dentin wurde gezeigt, dass sich die Randdichtigkeit von Kompositfüllungen verschlechtert, wenn diese innerhalb der ersten zwei Wochen nach dem Bleichen gelegt werden (TEIXEIRA et al. 2003, TURKUN und TURKUN 2004). Es kann daher nicht ausgeschlossen werden, dass in ähnlicher Weise das kurz aufeinander erfolgte Legen der

Füllungen und das folgende Bleichen der gefüllten Zähne zu besonders ungünstigen Resultaten geführt hat.

Für den Dentinbereich kann mithin zusammengefasst werden, dass das Bleichen einen negativen Einfluss auf den Randbereich von Kompositfüllungen hat, der sich in erhöhten Farbstoffpenetrationswerten zeigt. Bei 10%igem Carbamidperoxidgel spielt es keine Rolle, ob die Füllungen vor oder nach dem Bleichen altern. 38%iges Gel zeigt zunächst keinen negativen Einfluss auf ältere Füllungen, wohl aber begünstigt das Gel das Auftreten vermehrter Schäden nach weiterer Alterung.

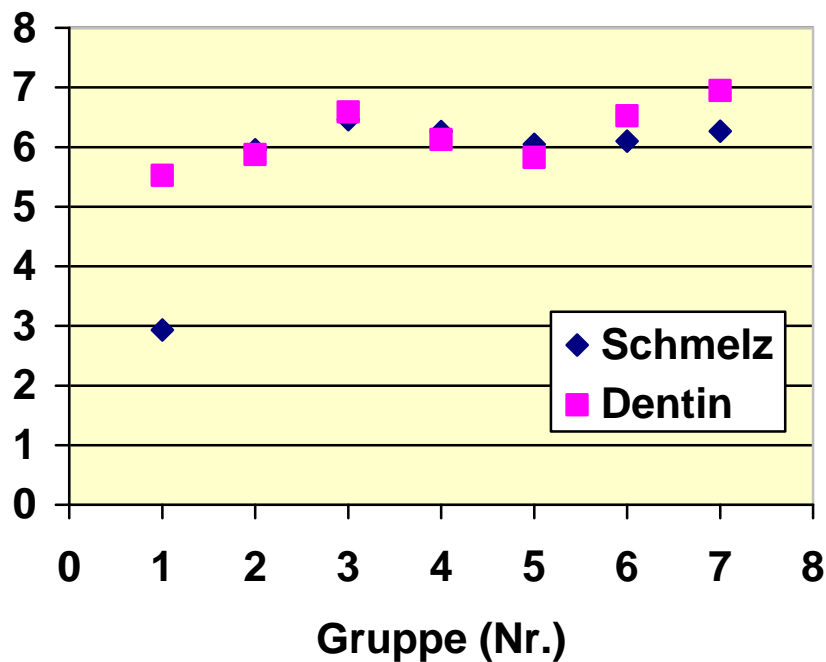
### 5.2.3 Vergleich der Ergebnisse in Schmelz und Dentin

Werden die Farbstoff-Penetrationstiefen der Kontrollgruppe, also ohne Einfluss von Alterung oder Bleichen, in Schmelz und Dentin verglichen (siehe Tabelle 5-1), so fällt auf, dass die Randdichtigkeit im Dentin geringer ist als im Schmelz. Diese Feststellung findet sich auch wiederholt in der Literatur bestätigt (BARKMEIER et al. 1989, TORII et al. 1990, SORENSEN et al. 1991).

Gruppe	Schmelz	Dentin
Kontrollgruppe	2,845 ± 1,324	5,454 ± 0,979

**Tab. 5-1 Vergleich der logarithmierten Farbstoffpenetrationsweiten in Schmelz- und Dentin der Kontrollgruppen (Mittelwert und Standardabweichung)**

Im weiteren Verlauf der Versuchsdurchführung mit Thermocycling und Bleichen stellen sich die Penetrationstiefen im Schmelz jedoch ähnlich, zum Teil sogar noch höher als im Dentin dar (s. Abbildung 5-1).



**Abb. 5-1 Vergleich der logarithmierten Penetrationstiefen aller Versuchgruppen im Schmelz und Dentin**

Wie bereits diskutiert, unterscheidet sich im Schmelzbereich die Kontrollgruppe signifikant von allen Versuchsgruppen. Die mit Thermocycling und den Gelen behandelten Gruppen, ob mit Placebo- oder mit Bleichgelen, hingegen unterscheiden sich nicht signifikant voneinander. So konnte die deutliche Verschlechterung im Schmelzbereich eher auf die Anwendung des Adhäsivsystems und des Thermocyclings als auf die Anwendung der verschiedenen Bleichgele zurückgeführt werden.

Im Dentinbereich hingegen unterscheiden sich die mit aktivem Bleichgel behandelten Versuchsgruppen von denen, die nur mit einem Placebo behandelt wurden. Dies mag damit zusammenhängen, dass das Adhäsivsystem für den Verbund zum Dentin konzipiert wurde, und dass dieser Verbund nicht bereits durch das Thermocycling maximal geschwächt wird. So können die unterschiedlichen aktiven Bleichbehandlungen weitergehenden Einfluss auf die Randdichtigkeit der Kompositfüllungen zeigen.

Verschiedene Studien haben gezeigt, dass das Bleichen im Dentin einen größeren Einfluss auf den adhäsiven Verbund zu Kompositen haben kann als im Schmelz (BARKHORDAR et al. 1997, SHINOHARA et al. 2001). Die Autoren stellten fest, dass die Anwendung von Bleichgelen den Randspalt von Kompositfüllungen im Dentin negativ beeinflusst, im Schmelzbereich jedoch keinen Einfluss hat. Zu der gleichen Schlussfolgerung kamen auch CRIM (1992) sowie KLUKOWSKA et al. (2008). Im Unterschied zu der vorliegenden Studie waren bei letzteren beiden Studien jedoch die Alterationen im Dentinverbund nicht signifikant.

Es ist zu diskutieren, warum die Farbstoffpenetration in den beiden Hartgeweben so unterschiedliche Ergebnisse zeigt. Außer dem bereits erwähnten Einfluss des Adhäsivsystems kann eine weitere Antwort im Aufbau von Schmelz und Dentin und im Wirkmechanismus der Bleichgele liegen. Die Aufhellung kommt auch durch die Oxidation organischer Komponenten zustande (FEINMANN et al. 1988). Im Dentin liegt ein deutlich größerer Anteil organischen Materials vor als im Schmelz (HELLWIG et al. 2003). Hier kann sich die Wirkung der Bleichgele auf organische Strukturen also stärker entfalten und somit evtl. größere morphologische Veränderungen als im Schmelz hervorrufen, wodurch die Entstehung eines Randspaltes gefördert werden kann. Außerdem stellen die Dentinkanälchen einen Weg für die Penetration des Farbstoffes dar, was auch an der Farbstoffpenetration in Vorversuchen zur vorliegenden Studie deutlich wurde. Im Dentin kann also mehr aktiver Bleichwirkstoff eindringen als im Schmelz und somit größere Alterationen bewirken.

#### **5.2.4 Schlussfolgerungen**

Die Fragestellung des Einflusses von externen Bleichanwendungen auf einen gealterten adhäsiven Komposit-Zahn-Verbund oder der Alterung auf einen zuvor gebleichten Komposit-Zahn-Verbund wurde anhand eines konkreten Komposit-Adhäsiv-Systems im In-vitro-Versuch überprüft. Obgleich es nicht die Fragestellung war, geben die Ergebnisse deutliche Anhaltspunkte dafür, dass das verwendete Adhäsivsystem insbesondere am Zahnschmelz einen der thermozyklischen Wechselbelastung nur unzureichend widerstehenden Verbund erzeugt. Dies ist bei der Interpretation der Ergebnisse zu

berücksichtigen. Insbesondere ist bezüglich einer Verallgemeinerung Zurückhaltung geboten, wenn die Bleichbehandlung keinen Einfluss auf die Eigenschaften des – von vornherien schon schlechten – adhäsiven Verbundes gezeigt hat.

Unter dieser Prämisse seien die eingangs formulierten Arbeitshypothesen, denen zufolge Bleichanwendungen die Farbstoffpenetration am Rand von Kompositfüllungen, proportional zur Wirkstoffkonzentration im Bleichgel, fördern, und denen zufolge eine künstliche Materialalterung durch Thermocycling diesen Effekt verstärke, abschließend folgendermaßen beantwortet:

- 1) Im Schmelzbereich konnte die Hypothese nicht bestätigt werden. Allerdings wurden hier in allen Untersuchungsgruppen im Vergleich zur Kontrollgruppe auffallend hohe Farbstoffpenetrationswerte am Füllungsrand gefunden. Diese können auf einen ungenügenden adhäsiven Verbund, der durch das Thermocycling offenbar wird, hindeuten. Die Bleichanwendungen verschlechtern diese ungenügenden Randdichtigkeiten nicht weiter.
- 2) Im Dentinbereich konnte die Arbeitshypothese, dass die Randundichtigkeit umso größer sei, je höher die wirksame Wasserstoffperoxidkonzentration im Bleichgel ist, bestätigt werden, sofern das Bleichen vor einer Alterung durch Thermocycling stattfindet.
- 3) Findet das Bleichen im Dentinbereich hingegen nach dem Thermocycling statt, spielt die Länge der Einwirkzeit des Bleichgels eine größere Rolle als dessen Konzentration. Für diesen Fall trifft die Arbeitshypothese nicht zu.

Über diese Ergebnisse hinaus wurden auch Hinweise gefunden, dass die Randdichtigkeit von Kompositfüllungen im Dentin bei Alterung des Verbundes in Abhängigkeit von der Einwirkzeit des bleichenden Wirkstoffes abnimmt. Die Ergebnisse untermauern Empfehlungen, im Anschluss an Bleichbehandlungen Kompositfüllungen regelmäßig zu kontrollieren, und den Patienten zuvor sorgfältig über mögliche Nebenwirkungen der Bleichbehandlung aufzuklären.

## 6 Zusammenfassung

Mit der vorgelegten In-vitro-Studie wurde untersucht, ob die Verwendung von Bleichgelen einen negativen Effekt auf die Randdichtigkeit von Kompositfüllungen hat. Hierbei wurde besonders auch der Einfluss einer künstlichen Alterung der Komposit-Zahn-Verbindung, sowohl vor als auch nach dem Bleichen, berücksichtigt. Hierdurch sollte untersucht werden, ob Füllungsrande, die vor dem Bleichen der künstlichen Alterung ausgesetzt sind, stärker verändert werden, oder ob das zuerst erfolgte Bleichen einen möglichen Angriffspunkt für eine darauf folgende Alterung bietet. Die Arbeitshypothese lautete, dass entstehende Randundichtigkeiten größer sind, je höher konzentriert das verwendete Bleichgel ist.

In 70 füllungs- und kariesfreie extrahierte Frontzähne wurden je zwei Kavitäten präpariert, so dass insgesamt 140 Füllungen beurteilt werden konnten. Die Hälfte jeder ca. 3mm durchmessenden approximalen Füllung lag im Schmelz und die andere Hälfte im Dentin. Die Füllung erfolgte mit dem lichthärtenden Hybridkomposit EcuSphere-Carat (DMG-Hamburg, Deutschland). Als Adhäsivsystem wurde der lichthärtende selbstkonditionierende Haftvermittler Contax (DMG-Hamburg, Deutschland), welcher für Schmelz und Dentin anwendbar und zugelassen ist, verwendet.

Die 140 Proben wurden randomisiert auf 7 Versuchsgruppen aufgeteilt. Die Proben einer Gruppe dienten als Kontrolle und wurden bis zum Farbstoff-Penetrationstest keinerlei weiteren Behandlungen unterworfen. In drei Gruppen wurden die Proben zunächst durch Thermocycling (5000 Zyklen) künstlich gealtert und dann anschließend gebleicht, bei den übrigen drei Gruppen wurden die Prozeduren in umgekehrter Reihenfolge angewendet. Für das Bleichen wurde zum einen ein Placebogel ohne aktiven H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-Anteil (DENTSPLY De Trey, Konstanz), zum anderen ein 10%iges Carbamidperoxidgel (Illumine home 10%, DENTSPLY De Trey, Konstanz) sowie ein 38%iges Hydrogenperoxidgel (Opalescence Xtra Boost, Ultradent, USA) verwendet. Im Anschluss an Bleichen und Altern wurde, nach Proteinfixierung in 5% Glutaraldehyd, die Farbstoffpenetration am Füllungsrand durch Einbringen der Probe für 24 Stunden in eine 1%ige

Neutralrot-Lösung bestimmt. Die Bestimmung der Penetrationstiefe erfolgte an Dünnschliffen im Durchlichtmikroskop. Die statistische Auswertung wurde getrennt für Füllungsrandbereiche in Schmelz und Dentin durchgeführt.

Im Schmelzbereich wiesen alle Gruppen mit Ausnahme der Kontrollgruppe hohe Penetrationswerte auf. Daher konnte die Arbeitshypothese, dass die Randdichtigkeit von Kompositfüllungen durch den Einfluss von Bleichgelen negativ beeinflusst wird, hier nicht bestätigt werden. Alle Versuchsgruppen, die mit Thermocycling und aktivem Bleichgel oder dem Placebo behandelt wurden, erzielten statistisch gleich schlechte Farbstoffpenetrations-Werte und unterschieden sich signifikant von der Kontrollgruppe. Da zwischen Placebo- und Bleichgelgruppen keine Unterschiede ermittelt werden konnten, kann dieses Ergebnis nicht auf das Bleichen zurückgeführt werden. Es kann spekuliert werden, dass die vergleichsweise schlechten Werte im Schmelzbereich mit dem verwendeten selbstkonditionierenden Adhäsiv in Zusammenhang stehen.

Im Dentinbereich wurden unterschiedliche Resultate erzielt, die von der Reihenfolge des Bleichens und des Thermocyclings abhängen. Fand erst das Bleichen und dann die künstliche Alterung durch Thermocycling statt, konnte die Arbeitshypothese bestätigt werden. Das Ausmaß der Farbstoffpenetration war demnach größer, je mehr aktiven Wirkstoffanteil das verwendete Gel enthielt. Wurde die Aufhellung nach der künstlichen Alterung vorgenommen, hatte das 38%ige Gel keinen größeren Einfluss als das Placebo. Nach Anwendung des 10%igen Gels hingegen war die Füllungsranddichtigkeit deutlich verschlechtert. Dies kann auf die anwendungsbedingt längere Einwirkzeit des 10%igen Gels im Vergleich zu der des 38%igen Gels bezogen werden. Der Effekt der Einwirkzeit des Bleichgels kommt demzufolge dann stärker zum Tragen, wenn der adhäsive Verbund durch die künstliche Alterung bereits vorhergehenden Belastungen ausgesetzt worden ist. Allerdings sind auch diese in vitro gewonnenen Aussagen auf das verwendete Adhäsivsystem zu beziehen und dürfen nicht unkritisch verallgemeinert werden.



---

## 7 Literaturverzeichnis

Albers, H.F.; Dunn, J.R.; Perdigao, J.: Composite materials in restorative dentistry. Interview by Mark J. Friedman. *Compend Contin Educ Dent* 22: 666-672 (2001)

Almas, K.; Al-Harbi, M.; Al-Gunaim, M.: The effect of a 10% carbamide peroxide home bleaching system on the gingival health. *J Contemp Dent Pract* 15: 32-41 (2003)

Alonso de la Pena, V.; Balboa Carbita, O.: Comparison of the clinical efficacy and safety of carbamide peroxide and hydrogen peroxide in at-home bleaching gels. *Quintessence Int* 37: 551-556 (2006)

Amato, M; Scaravill, M.S.; Farella, M.; Riccitiello, F.: Bleaching teeth treated endodontically: long-term evaluation of a case series. *J Endod* 32: 376-378 (2006)

Anderson, M.H.: Dental bleaching. *Curr Opin Dent* 1: 185-191 (1991)

Atkinson, C.B.: Fancies and some facts. *Dent Cosmos* 34 : 968-971 (1892)

Attin, T.: Sicherheit und Anwendung von carbamidperoxidhaltigen Gelen bei Bleichtherapien. *Dtsch Zahnärztl Z* 53: 11-6 (1998)

Attin, T.: Die Aufhellung verfärbter, avitaler Zähne mit der „Walking-bleach-Technik“. *Dtsch Zahnärztl Z* 56:78-89 (2001)

Attin, T., Becker, M., Poswa-Scholzen, M., Tambaur, B., Klein, H.-D.: *Praxis Coach Bleaching - Das Handbuch für erfolgreiches Bleaching in der Zahnarztpraxis.* (Praxisverlag, Heidelberg 2002)

Auschill, T.M.; Hellwig, E.; Schmidale, S.; Hannig, M.; Arweiler, N.B.: Effectiveness of various whitening techniques and their effect on the enamel surface. *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 112: 894-900 (2002)

Barkhordar, R.A.; Kempler, D.; Plesh, O.: Effect of nonvital tooth bleaching on microleakage of resin composite restorations. *Quintessence Int* 28: 341-344 (1997)

- Barkmeier, W.W.; Huang, C.T.; Hammesfabr, P.D.; Jefferies, S.R.: In vitro evaluation of two new dentin adhesive systems. *J Esthet Dent* 1: 164-167 (1989)
- Barnes, D.M.; Kihn, P.W.; Romberg, E.; George, D.; DePaola L.; Medina E.: Clinical evaluation of a new 10% carbamide peroxide tooth-whitening agent. *Compend Contin Educ Dent* 19: 968-972 (1998)
- Basting, R.T.; Rodrigues, A.L. Jr.; Serra, M.C.: The effect of seven carbamide peroxide bleaching agents on enamel microhardness over time. *J Am Dent Assoc* 134: 1335-1342 (2003)
- Benetti, A.R.; Valera, M.C.; Mancini, M.N.; Miranda, C.B.; Balducci, I.: In vitro penetration of bleaching agents into the pulp chamber. *Int Endod J* 37: 120-124 (2004)
- Braun, A.; Jepsen, S.; Krause, F.: Spectrophotometric and visual evaluation of vital tooth bleaching employing different carbamide peroxide concentrations. *Dent Mater* (2006)
- Carlsson, J.; Edlund, M.B.; Lundmark, S.K.: Characteristics of a hydrogen peroxide-forming pyruvate oxidase from *Streptococcus sanguis*. *Oral Microbiol Immunol* 2: 15-20 (1987)
- Cavalli, V.; Reis, A.F.; Giannini, M.; Ambrosiano, G. M.: The effect of elapsed time following bleaching on enamel bond strength of resin composite. *Oper Dent* 26: 597 (2001)
- Collins, L.Z.; Maggio, B.; Gallagher, A.; York, M.; Schafer, F.: Safety evaluation of a novel whitening gel, containing 6% hydrogen peroxide and a commercially available whitening gel containing 18% carbamide peroxide in an exaggerated use clinical study. *J Dent* 32 Suppl. 1: 47-50 (2004)
- Crim, G.A. : Post-operative bleaching: Effect on microleakage. *Am J Dent* 5: 109-112 (1992)
- Crim, G.A. : Prerestorative bleaching: Effect on microleakage of Class V cavities. *Quintessence Int* 23: 823-825 (1992)
- Da Silva, B.M.; Florio, F.M.; Basting, R.T.: Shear bond strength of resin composite to enamel and dentin submitted to a carbamide peroxide dentifrice. *Am J Dent* 20: 319-323 (2007)

- Deliperi, S.; Bardwell, D.N.; Papathanasiou, A.: Clinical evaluation of a combined in-office and take-home bleaching system. *J Am Dent Assoc* 135: 628-624 (2004)
- De Munck, J.; Van Landuyk, K. ; Peumans, M. ; Poitevin, A. ; Lambrechts, P. ; Braem, M. ; Van Meerbeek, B. : A critical review of the durability of adhesion to tooth tissue: methods and results. *J Dent Res* 84: 118-132 (2005)
- Fasanaro, T.S.: Bleaching teeth: history, chemicals and methods used for common tooth discolorations. *J Esthet Dent* 4: 71-78 (1992)
- Feinmann, R.A.; Goldstein, R.E.; Garber, D.A.: *Verschiedene Techniken zum Bleichen von Zähnen*. Quintessenz, Berlin 1988
- Ferrari, M.; Goracci, G.; Garcia-Godoy, F.: Bonding mechanism of three "one-bottle" systems to conditioned and unconditioned enamel and dentin. *Am J Dent* 10: 224-230 (1997)
- Frankenberger, R.; Krämer, N.; Lohbauer, U.; Nikolaenko, S.A.: Marginal integrity: is the clinical performance of bonded restorations predictable in vitro? *J Adhes Dent* 9 (Suppl 1): 107-116 (2007)
- Frankenberger, R.; Krämer, N.; Petschelt, A.: Fatigue behaviour of different dentin adhesives. *Clin Oral Invest* 3: 11-17 (1999)
- Frysh, H.; Bowles, W.H., Baker, F., Rivera-Hidalgo, F., Guillen, G.: Effect of pH on hydrogen peroxide bleaching agents. *J Esthet Dent* 7: 130-133 (1995)
- Ganß, C.; Reinhardt, K.; Klimek, J.: Der Einfluss einer Vitalbleichung mit Carbamidperoxid auf die Entstehung künstlicher initialer Kariesläsionen und Schmelzerosionen. *Dtsch Zahnärztl Z* 52: 597-9 (1997)
- Gokay, O.; Mujdeci, A.; Alg in, E.: In vitro peroxide penetration into the pulp chamber from newer bleaching products. *Int Endod J* 38: 516-521 (2005)
- Goldstein, R.E.: In-office bleaching: where we came from, where we are today. *J Am Dent Assoc* 128 Suppl:11-15 (1997)
- Guldener, P.H.A.; Langeland, K.: *Endodontologie, Diagnostik und Therapie*. 3. Aufl. Thieme, Stuttgart 1993, S. 441-446

- Hegedus, C.; Bistey, T.; Flora-Nagy, E.; Keszthelyi, G.; Jenei, A.: An atomic force microscopy study on the effect of bleaching agents on enamel surface. *J Dent* 27:509-515 (1999)
- Heithersay, G.S.: Invasive cervical resorption: analysis of potential predisposing factors. *Quintessence Int* 30: 83-95 (1999)
- Heithersay, G.S.; Dahlstrom, S.W.; Marin, P.D.: Incidence of invasive cervical resorption in bleached root-filled teeth. *Aust Dent J* 39: 82-87 (1994)
- Heller, D.; Skriber, J.; Lin, L.M.: Effect of intracoronal bleaching on external cervical root resorption. *J Endod* 18: 145-148 (1992)
- Hellwig, E.; Klimek, J.; Attin, Th.: Einführung in die Zahnerhaltung. 3. Aufl. Urban & Fischer, München 2003
- Hoffmann-Axthelm, W.: Die Geschichte der Zahnheilkunde. 2. Aufl. Quintessenz Verlags-GmbH, Berlin, Chicago, London, Rio de Janeiro und Tokio 1985, S. 78
- Kim, J.H.; Lee, Y.K.; Lim, B.S.; Rhee, S.H.; Yang, H.C.: Effect of tooth-whitening strips and films on changes in color and surface roughness of resin composites. *Clin Oral Investig* 8: 118-122 (2004)
- Kirk, E.C.: Hints, queries, and comments: sodium peroxide. *Dent Cosmos* 35: 1265-1267 (1893)
- Klukowska, M.A.; White, D.J.; Gibb, R.D.; Garcia-Godoy, F.; Garcia-Godoy, C; Duschner, H.: The effects of high concentration tooth whitening bleaches on microleakage of Class V composite restorations. *J Clin Dent* 19: 14-17 (2008)
- Kugel, G.: Over-the-counter tooth-whitening systems. *Compend Contin Educ Dent* 24: 376-382 (2003)
- Leonard, R.H. Jr.; Bentley, C.; Eagle, J.C.; Garland, G.E.; Knight, M.C.; Phillips, C.: Nightguard vital bleaching: a long-term study on efficacy, shade retention, side effects and patients' perceptions. *J Esthet Rest Dent* 13: 357-369 (2001)

- Leonard, R.H. Jr.; Garland, G.E.; Eagle, J.C.; Caplan, D.J.: Safety issues using a 16% carbamide peroxide whitening solution. *J Esthet Rest Dent* 14: 358-367 (2004)
- Lim, M.Y.; Lum, S.O.; Poh, R.S.; Lee, G.P.; Lim, K.C.: An in vitro comparison of the bleaching efficacy of 35% carbamide peroxide with established intracoronal bleaching agents. *Int Endod J* 37: 483-488 (2004)
- Loguerico, A.D.; Souza, D.; Floor, A.S.; Mesko, M.; Barbosa, A.N.; Busato, A.L.: Clinical evaluation of external radicular resorption in non-vital teeth submitted to bleaching. *Abstract, Pequi Odontol Bras* 16: 131-135 (2002)
- Lopes, G.C.; Marson, F.C. Vieira, L.C.; DeCaldeira, A.M.; Baratieri, L.N.: Composit bond strength to enamel with self-etching primers. *Oper Dent* 29: 424-429 (2004)
- Lutze, K.: Zahnpflege bei Griechen und Römern: Schön dank Myrte, Myrrhe und Mastix. *Zahnärztl Mitt* 98 (8): 110-114 (2008)
- Mokhlis, G.R.; Matis, B.A.; Cochran, M.A.; Eckert, G.J.: A clinical evaluation of carbamide peroxide and hydrogen peroxide whitening agents during daytime use. *J Am Dent Assoc* 131: 1269-1277 (2000)
- Mor, C.; Steinberg, D.; Dogan, H.; Rotstein, I.: Bacterial adherence to bleached surfaces of composite resin in vitro. *Oral Surg Oral Med Pathol Oral Radiol Endod* 86:582-586 (1998)
- Mujdeci, A.; Gokay,O.: Effect of bleaching agents on the microhardness of tooth-colored restorative materials. *J Prostet Dent* 95: 286-289 (2006)
- Munro, I.C.; Williams, G.M.; Heymann, H.O.; Kroes, R.: Tooth whitening products and the risc of oral cancer. *Food Chem Toxicol* 44: 301-315 (2006)
- Owens, B.M.; Johnson, W.W.: Effect of single step adhesives on the marginal permeability of class V resin composites. *Oper Dent* 32: 67-72 (2007)
- Park, H.J.; Kwon, T.Y.; Nam, S.H.; Kim, H.J.; Kim, Y.J.: Changes in bovine enamel after treatment with a 30% hydrogen peroxide bleaching agent. *Dent Mater J* 23: 517-521 (2004)

- Petrasz, M.: Evaluation methods of nightguard teeth bleaching with opalescence ultradent based on clinical and experimental tests. Abstract. *Ann Acad Med Stetin* 49: 321-333 (2003)
- Pilo, R.; Ben-Amar, A.: Comparison of microleakage for three one-bottle and three multiple-step dentin bonding agents. *J Prosthet Dent* 82: 209-213 (1999)
- Rebel, H.-H.: *Konservierende Zahnheilkunde*. 2. Aufl., Hanser, München 1947, S. 282-284
- Rotstein, I.; Friedman, S.; Mor, C.; Katznelson, J.; Sommer, M.; Bab, I.: Histological characterization of bleaching-induced external root resorption in dogs. *J Endod* 17: 436-441 (1991)
- Rotstein, I.; Lehr, Z.; Gedalia, I.: Effect of bleaching agents on inorganic components of human dentin and cementum. *J Endod* 18: 290 (1992)
- Schroeder, H.E.: *Pathobiologie oraler Strukturen*. 2. Aufl., Karger, Basel 1991, S. 75-79
- Shinohara, M.S.; Rodrigues, J.A.; Pimenta, L.A.: In vitro microleakage of composite restorations after nonvital bleaching. *Quintessence Int* 32: 413-417 (2001)
- Sorensen, J.A.; Dixit, N.V.; White, S.N.; Avera, S.P.: In vitro microleakage of dentin adhesives. *Int J Prosthodont* 4: 213-218 (1991)
- Sulieman, M.; Addy, M.; MacDonalds, E.; Rees, J.S.: A safety study in vitro for the effects of an in-office bleaching system on the integrity of enamel and dentine. *J Dent* 32: 581-590 (2004)
- Tam, L.: Effect of potassium nitrate and fluoride on carbamide peroxide bleaching. *Quintessence Int* 32: 766-770 (2001)
- Tames, D.; Grando, L.J.; Tames, D.R.: Alterations on dental enamel submitted to 10% carbamide peroxide. *Revista da APCD (Abstract)* 52: 145-149 (1998)
- Teixeira, E.C.; Hara, A.T.; Turssi, C.P.; Serra, M.C.: Effect of non-vital tooth bleaching on microleakage of coronal access restorations. *J Oral Rehabil* 30: 1123-1127 (2003)

- Thintinanthapan, W.; Satamanont, P.; Vongsavan, N.: In vitro penetration of the pulp chamber by three brands of carbamide peroxide. *J Esthet Dent* 11: 259 (1999)
- Tipton, D.A.; Braxton, S.D.; Dabbous, M.K.: Effects of a bleaching agent on human gingival fibroblasts. *J Periodontol* 66: 7-13 (1995)
- Titley, K.C.; Torneck, C.D.; Smith, D.C.; Adibfar, A.: Adhesion of resin composite to bleached and unbleached bovine enamel. *J Dent Res* 67: 1523-1528 (1988)
- Titley, K.C. ; Torneck, C.D. ; Smith, D.C. ; Chernecky, R. ; Adibfar, A.: Scanning electron microscopy observations on the penetration and structure of resin tags in bleached and unbleached bovine enamel. *J Endod* 17: 72-75 (1991)
- Torii, Y.; Iwami, Y.; Kato, R.; Imazato, S.; Torii, M.; Tsuchitani, Y.: Bonding ability of light cured composite resin to enamel and dentin promoted by various bonding systems-microleakage and bond strength studies. *J Osaka Univ Dent Sch* 30: 72-77 (1990)
- Torneck, C.D.; Titley, K.C.; Smith, D.C.; Adibfar, A.: The influence of time of hydrogen peroxide exposure on the adhesion of resin composite to bleached bovine enamel. *J Endod* 16: 123-128 (1990)
- Torneck, C.D.; Titley, K.C.; Smith, D.C.; Adibfar, A.: Effect of water leaching on the adhesion of resin composite to bleached and unbleached bovine enamel. *J Endod* 17: 156-160 (1991)
- Tse, C.S.; Lynch, E.; Blake, D.R.; Williams, D.M.: Is home tooth bleaching gel cytotoxic. *J Esthet Dent* 3: 162-168 (1991)
- Turkun, L.S.; Turkun, M.: Effect of bleaching and repolishing procedures on coffee and tea stain removal from three anterior composite veneering materials. *J Esthet Rest Dent* 16: 290-301 (2004)
- Turkun, M.; Sevgican, F.; Pehlivan, Y.; Aktener, B.O.: Effect of 10% carbamide peroxide on the enamel surface morphology: a scanning electron microscopy study. *J Esthet Rest Dent* 14: 238-244 (2002)

- Ulukapi, H.; Benderli, Y.; Ulukapi, I.: Effect of pre- and postoperative bleaching on marginal leakage of amalgam and composite restorations. *Quintessence Int* 34: 505-508 (2003)
- Villata, P.; Lu, H.; Okte, Z.; Garcia-Godoy, F.; Powers, J.M.: Effects of staining and bleaching on color change of dental composite resins. *J Prosthet Dent* 95: 137-142 (2006)
- White, D.J.; Duschner, H.; Pioch, T.: Effect of bleaching treatments on microleakage of class I restorations. *J Clin Dent* 19: 33-36 (2008)
- White, D.J.; Kozak, K.M.; Zoladz, J.R.; Duschner, H.J.; Gotz, H.: Effects of Crest Whitestrips bleaching on surface morphology and fracture susceptibility of teeth in vitro. *J Clin Dent* 14: 82-87 (2003)
- Yap, A.U.; Wattanapayungkul, P.: Effect of in-office tooth whiteners on hardness of tooth-colored restoratives. *Oper Dent* 27: 137-141 (2002)
- Yeh, S.T.; Su, Y.; Lu, Y.C., Lee, S.Y.: Surface changes and acid dissolution of enamel after carbamide peroxide bleach treatment. *Oper Dent* 30: 507-515 (2005)
- Zaragoza, V.: Bleaching of vital teeth: Technique. *Estomodeo* 9: 7-30 (1984)
- Ziebolz, D.; Hannig, C.; Attin, T.: Influence of a desensitizing agent on efficacy of a paint-on bleaching agent. *Am J Dent* 21: 77-82 (2008)
- Ziebolz, D.; Helms, K.; Hannig, C.; Attin, T.: Efficacy and oral side effects of two highly concentrated tray-based bleaching systems. *Clin Oral Investig* 11: 267-275 (2007)
- Ziembra, S.L.; Felix, H.; MacDonald, J.; Ward, M.: Clinical evaluation of a novel dental whitening lamp and light-catalyzed peroxide gel. *J Clin Dent* 16: 123-127 (2005)



## 8 Anhang

Gruppe	Dentinpenetration in $\mu\text{m}$	Dentinlänge in $\mu\text{m}$	Schmelzpenetration in $\mu\text{m}$	Schmelzlänge in $\mu\text{m}$
1	352	4738	53	419
1	755	4925	35	279
1	397	4401	18	356
1	365	4503	16	259
1	385	3934	65	356
1	134	3549	296	307
1	649	4788	3	688
1	344	4871	16	613
1	288	4889	36	786
1	297	5210	12	1050
1	81	5158	8	697
1	307	3898	3	109
1	547	3960	3	936
1	29	4930	23	1014
1	259	4265	69	549
1	777	4407	21	721
1	164	4493	43	674
1	28	4149	3	658
1	291	4723	39	872
1	58	4309	2	896
2	257	6641	501	638
2	638	5384	474	523
2	1061	4065	822	255
2	178	4705	615	290
2	325	4693	627	918
2	718	4349	630	396
2	618	5331	854	513
2	1034	5800	641	549
2	209	5119	119	691
2	95	5002	380	566
2	233	5330	872	444
2	866	5122	31	650
2	104	5730	1002	334
2	772	5215	684	440
2	558	5048	840	516
2	425	4753	762	241
2	707	5050	600	453
2	325	5188	525	465
2	185	5239	26	318
2	730	5333	56	599

Gruppe	Dentinpenetration in $\mu\text{m}$	Dentinlänge in $\mu\text{m}$	Schmelzpenetration in $\mu\text{m}$	Schmelzlänge in $\mu\text{m}$
3	1060	5297	99	684
3	1249	4942	135	541
3	562	4669	665	224
3	724	4700	696	753
3	1619	4989	1030	404
3	856	4736	831	865
3	762	4186	813	345
3	445	4317	791	384
3	464	4580	681	409
3	483	4245	705	568
3	469	4692	224	382
3	959	4385	838	460
3	670	4478	1117	78
3	879	4374	738	893
3	1731	4248	925	206
3	330	4346	1503	453
3	1326	4684	646	594
3	154	4510	549	764
3	1744	5110	915	733
3	256	5001	714	884
4	134	4163	480	257
4	299	4716	886	181
4	905	5041	213	574
4	1558	5392	339	219
4	620	5231	319	552
4	1253	4515	631	404
4	669	4077	597	696
4	260	4237	1099	702
4	406	4851	446	393
4	482	5013	475	357
4	772	4885	1086	175
4	983	4560	1012	179
4	523	4842	332	699
4	136	4500	405	546
4	294	3782	1010	613
4	294	3991	571	441
4	360	4863	548	567
4	582	4533	242	488
4	270	4546	465	892
4	173	4406	749	684

Gruppe	Dentinpenetration in $\mu\text{m}$	Dentinlänge in $\mu\text{m}$	Schmelzpenetration in $\mu\text{m}$	Schmelzlänge in $\mu\text{m}$
5	570	4952	591	419
5	426	5021	513	424
5	236	4644	1154	467
5	132	4831	826	374
5	1007	4834	131	515
5	1294	5031	114	565
5	464	5099	832	293
5	335	5055	406	320
5	740	5618	406	729
5	855	5985	632	328
5	98	4768	625	389
5	134	4803	678	441
5	743	4046	939	552
5	408	4000	1626	515
5	123	4940	859	50
5	152	4801	155	367
5	1472	4675	111	399
5	236	4370	215	380
5	149	5064	374	227
5	216	5038	465	531
6	383	5060	849	484
6	899	4801	898	582
6	480	4215	1084	586
6	257	4202	1148	424
6	570	4769	709	167
6	1593	4755	62	406
6	840	4720	736	413
6	470	4757	960	579
6	881	4650	33	379
6	515	4731	272	441
6	1491	4585	797	616
6	955	4775	744	679
6	686	5149	863	313
6	1591	5185	853	624
6	296	5006	996	438
6	911	4698	1076	523
6	350	4281	49	553
6	1253	4668	69	446
6	842	5065	314	545
6	494	5226	1057	429

Gruppe	Dentinpenetration in $\mu\text{m}$	Dentinlänge in $\mu\text{m}$	Schmelzpenetration in $\mu\text{m}$	Schmelzlänge in $\mu\text{m}$
7	1115	4703	628	604
7	707	4710	183	533
7	789	5055	108	585
7	1078	4649	1306	565
7	884	4691	654	538
7	824	4561	154	479
7	975	4815	621	446
7	750	4725	774	500
7	1835	4839	1211	462
7	326	4608	746	671
7	546	3721	1028	498
7	895	3752	1036	407
7	817	4972	334	346
7	3515	5106	191	555
7	995	4925	984	294
7	862	4863	929	506
7	2828	4890	348	597
7	3490	5065	353	695
7	1653	5200	665	543
7	400	4346	589	577

**Tab. 8-1 Nicht-adjustierte Messwerte der Farbstoffpenetrationsbestimmung für Schmelz und Dentin**

---

## 9 Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei allen bedanken, die mich unterstützt und zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben.

Hier gilt zunächst mein besonderer Dank meinem Doktorvater Herrn Professor Dr. Ulrich Schiffner. Trotz vieler anderer Verpflichtungen nahm er sich immer die Zeit und Ruhe mir mit viel Geduld bei allen Problemen hilfreich zur Seite zu stehen.

Im Labor, bei der Versuchsdurchführung, konnte ich mich jederzeit auf die tatkräftige Hilfe von Frau Monika Schmersahl und Herrn Frank Fischer verlassen. Frau Dagmar Claußen machte für mich die Fotos und nahm sich auch noch Zeit für die Grafiken.

Für die große Hilfe bei der statistischen Auswertung möchte ich Herrn Eik Vettorazzi vom Institut für medizinische Biometrie und Epidemiologie am Universitätsklinikum Hamburg-Eppendorf danken.

Ganz besonders danke ich auch meinen Eltern, Heidi und Jörn-Ingo Wunderlich, für Ihre Geduld und seelische Unterstützung.

---

## 10 Lebenslauf

Vor- und Nachname:	Pia Lena Wunderlich
Geburtsdatum:	15. 03. 1983
Geburtsort:	Buchholz i. d. Nordheide
Eltern:	Heidi Wunderlich Jörn-Ingo Wunderlich
Geschwister:	Ole Wunderlich
Schulbildung:	1989-2002 Rudolf-Steiner-Schule Nordheide
Schulabschluss:	Allgemeine Hochschulreife
Studium:	2003-2008 Zahnmedizin am Universitätsklinikum Hamburg- Eppendorf
Approbation:	Juli 2008
Derzeitige Tätigkeit:	Als Vorbereitungsassistentin in freier Praxis

---

## 10 Erklärung

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

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

Hamburg, den \_\_\_\_\_

Pia Wunderlich