

Die Beeinflussung der Schmelzstruktur durch laseraktivierte Bleichverfahren  
Eine In-vitro-Studie

Inaugural-Dissertation  
zur Erlangung des Doktorgrades  
der Hohen Medizinischen Fakultät  
der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität  
Bonn

vorgelegt von  
Bele Elise Biermann  
aus Köln

2009

Angefertigt mit Genehmigung der  
Medizinischen Fakultät der Universität Bonn

1. Gutachter: Professor Dr. M. Frentzen
2. Gutachter: Professor Dr. St. Baader

Tag der Mündlichen Prüfung: 23.09.2009

Aus der Poliklinik für Parodontologie, Zahnerhaltung und Präventive Zahnheilkunde des  
Zentrums für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde der Universität Bonn  
Direktor: Prof. Dr. Dr. S. Jepsen

Für meine Mutter



# Inhaltsverzeichnis

<b>Inhaltsverzeichnis</b>	<b>5</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis</b>	<b>8</b>
<b>1. Einleitung</b>	<b>9</b>
1.1 Einführung in die Thematik	9
1.2 Die Zahnfarbe	10
1.2.1 Die verschiedenen Verfärbungsarten	10
1.2.1.1 Externe Verfärbungen	11
1.2.1.2 Interne Verfärbungen	13
1.2.1.2.1 Verfärbungen durch medikamentöse Einflüsse	13
1.2.1.2.1.1 Tetrazyklinverfärbungen	13
1.2.1.2.1.2 Fluoroseverfärbungen	13
1.2.1.2.2 Zahnverfärbungen aufgrund von Strukturveränderungen und Fehlbildungen	14
1.2.1.2.2.1 Turner-Zahn	14
1.2.1.2.2.2 Dentinogenesis imperfecta hereditaria	14
1.2.1.2.2.3 Amelogenesis imperfecta	14
1.2.1.2.2.4 Taurodontismus	15
1.2.1.2.2.5 Globodontismus	15
1.2.1.2.2.6 Hutchinson-Zähne	15
1.2.1.2.3 Zahnverfärbungen aufgrund systemischer Erkrankungen	15
1.2.1.2.3.1 Erythroepoetische Porphyrie	15
1.2.1.2.3.2 Morbus hämolyticus neonatorum	16
1.2.1.2.3.3 Thalassämie	16
1.2.1.2.3.4 Sichelzell-Anämie	16
1.2.1.2.4 Iatrogene Einflüsse auf die Zahnfarbe	16
1.2.1.2.5 Altersbedingte Zahnverfärbungen	17

1.2.1.2.6	Kariöse Zahnverfärbungen	18
1.2.2	Indikationen zur Korrektur der Zahnfarbe	19
1.2.2.1	Zahnreinigung	20
1.2.2.2	Füllungen	21
1.2.2.3	Kronen	22
1.2.2.4	Veneers	22
1.2.3	Die verschiedenen Bleichsysteme	23
1.2.3.1	Chemische Grundlagen	23
1.2.3.2	Bleichtechniken	24
1.2.3.2.1	Internes Bleichen	25
1.2.3.2.2	Externes Bleichen	25
1.2.3.2.2.1	Home bleaching	26
1.2.3.2.2.2	In-Office-bleaching	26
1.2.3.2.2.3	Chair-side-bleaching	26
1.2.3.3	Applikationsverfahren zum externen Bleichen	27
1.2.3.4	Klinisches Vorgehen	28
1.2.4	Nebeneffekte des Bleichens	31
1.2.4.1	Klinische Nebeneffekte des Bleichens	31
1.2.4.1.1	Nebeneffekte des externen Bleichens	31
1.2.4.1.2	Nebeneffekte des internen Bleichens	33
1.2.4.1.3	Ultrastrukturelle Veränderungen in den Zahnhartgeweben	33
1.3	Ziel der Arbeit	37
<b>2.</b>	<b>Material und Methoden</b>	<b>38</b>
2.1	Versuchsablaufbeschreibung	38
2.2	Farbbestimmung-Das Vita® 3D System	39
2.3	Bleichmaßnahmen	42
2.4	pH-Cycling	44

2.5	Polarisationsoptische Untersuchung	46
2.6	REM-Bestimmung	46
2.7	Auswertung der Bleicheffekte	48
<b>3.</b>	<b>Ergebnisse</b>	<b>49</b>
3.1	Aufhellungseffekte	49
3.2	Statistische Auswertung mit dem Chi-Quadrat-Test	51
3.3	Polarisationsoptische Ergebnisse	52
3.4	REM-Ergebnisse	53
<b>4.</b>	<b>Diskussion</b>	<b>57</b>
4.1	Methodenkritik	57
4.2	Klinische Relevanz	58
4.3	Konklusio	60
<b>5.</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>61</b>
<b>6.</b>	<b>Anhang</b>	<b>62</b>
6.1	Tabellenanhang	62
<b>7.</b>	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>74</b>
<b>8.</b>	<b>Danksagung</b>	<b>84</b>
<b>9.</b>	<b>Lebenslauf</b>	<b>85</b>

## Abkürzungsverzeichnis

Abb.	= Abbildung
af	= Amalgamfüllung
c	= Karies
d	= distal
EM-Zeit	= Emmissionszeit
GIZ	= Glasionomerzement
griech.	= griechisch
Log.	= Logarithmus
m	= mesial
mo	= mesial okklusal
o	= okklusal
od	= okklusal distal
pf	= provisorische Füllung
pH	= negativer dekadischer Log. der Wasserstoffionenkonzentration
pV	= provisorische Versorgung
REM	= Rasterelektronenmikroskop
v	= vestibulär



# 1. Einleitung

## 1.1 Einführung in die Thematik

In der heutigen, mediengeprägten Gesellschaft haben weiße Zähne an Stellenwert gewonnen. Vor allem die Werbung suggeriert dem Verbraucher, weiße Zähne seien ein Attribut von Schönheit, Gesundheit, Kraft und Erfolg. Zähne sind ein wesentlicher Bestandteil des Gesichts. Zahnverfärbungen, besonders im sichtbaren Frontzahnbereich, werden als störend bis untragbar angesehen. Weiße Zähne sind in den vergangenen Jahren zunehmend zu einem Statussymbol geworden.

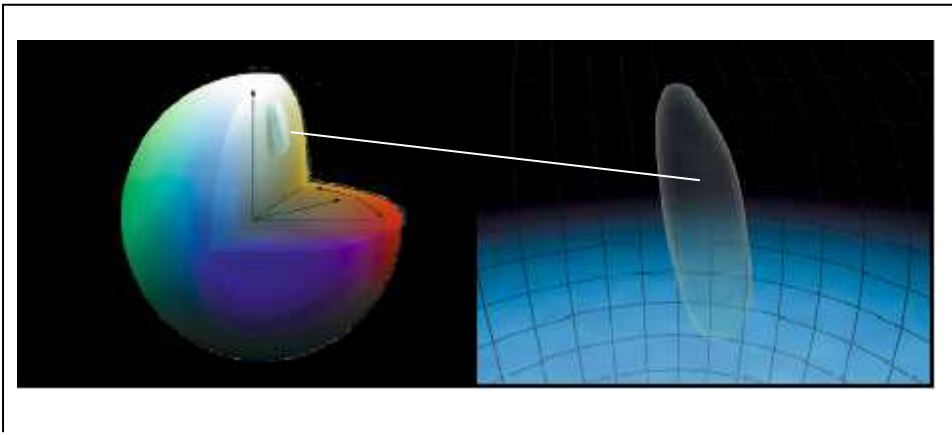
Das Bleichen stellt heute eine gute noninvasive Alternative zu konservierend korrigierenden bzw. prothetischen Maßnahmen mit hohem Substanzverlust dar. Daneben wird das Bleichen sowohl als vorbereitende Maßnahme zur späteren Weiterversorgung verfärbter Zähne als auch zur möglichen Anpassung an bereits bestehende prothetische Versorgungen genutzt.

Der Wunsch nach weißen Zähnen existiert schon seit sehr langer Zeit. Mitte des 19. Jahrhunderts (1848) wurde bereits Chlorkalk zur Aufhellungstherapie avitaler Zähne verwendet (Dwinelle, W. W., 1850). Im Jahr 1877 wurde die Wirkung von Oxalsäure von Chapman getestet (Zaragoza, 1984). Beschreibungen zur Anwendung von Wasserstoffperoxid finden sich seit 1884 (Harlan, 1884), wobei Abott 1918 Wasserstoffsuperoxid in die Bleichtherapie vitaler Zähne einführte (Attin, Kielbassa, 1995).

Anfang der achtziger Jahre wurden Lampen als Wärmequelle zur Beschleunigung des Bleichvorgangs von hochkonzentriertem Hydrogenperoxid verwendet, was auf Abbot zurückzuführen ist (Dostalova, 2004). Die Weiterentwicklung verschiedener Bleichmethoden geht bis in die heutige Zeit hin zu diversen lasergestützten Verfahren, die kontrovers diskutiert werden.

## 1.2. Die Zahnfarbe

Farben werden von der individuellen menschlichen Wahrnehmung subjektiv aufgenommen. Mit Hilfe des Farbraums, einem dreidimensionalen Modell, lassen sich Farben in ihrem Spektrum physikalisch eindeutig definieren. Dies geschieht über die drei Parameter Farbhelligkeit, Farbintensität und Farbton (Abb. 1).



**Abb. 1:** Der dreidimensionale Farbraum (aus VITA®- Das Zahnfarbsystem. Produktinformation der VITA® Zahnfabrik, Bad Säckingen, 1998): Der Zahnfarbraum wird durch die drei Parameter Helligkeit, Farbintensität und Farbton bestimmt und ist ein kleiner Teil des dreidimensionalen Farbraums.

Der Zahnfarbraum befindet sich klar definiert im oberen Helligkeitsbereich der Gelb-Rot-Farbtöne, so dass alle Zahnfarben, unabhängig von der Wahrnehmung, eindeutig benannt werden können. Die Zahnfarben liegen im Farbraum bei unterschiedlichen Helligkeits- und Intensitätswerten.

Die Qualität der Farbe wird durch den Farbton und die Farbintensität beschrieben. Die Quantität durch die Helligkeit (VITA 1998).

### 1.2.1 Die verschiedenen Verfärbungsarten

Prinzipiell lassen sich externe von internen Verfärbungen unterscheiden.

### 1.2.1.1 Externe Verfärbungen

Externe Verfärbungen entstehen posteruptiv, liegen der Zahnoberfläche auf und sind durch eine professionelle Zahnreinigung entfernbar.

Bei der Entstehung von Zahnverfärbungen nehmen Plaque, Pellikel und Zahnstein nach und nach Farbstoffe aus Nahrungs- und Genussmitteln wie Tee, Kaffee, Tabak oder Rotwein auf. Dazu sind verschiedene Anziehungskräfte wie elektrostatische Anziehung, van der Waals-Kräfte oder Wasserstoffbrückenbindungen notwendig, die eine Anlagerung der Chromogene (farbgebende Stoffe) an die Zahnoberfläche ermöglichen. Mit zunehmender Verweildauer ist diese Art von Verfärbungen immer schwieriger zu entfernen (Kielbassa, Wrbas, 2000). Auflagerungen, die auf eine Beteiligung verschiedener Metalle bzw. deren Salze zurückzuführen sind, zeigen unterschiedliche Farbnuancen. So verursachen eisenhaltige Medikamente eine grauschwarze Verfärbung, während silbernitrit-haltige Desinfektionslösungen zu braunschwarzen Veränderungen führen können. Beispiele für externe metallinduzierte Verfärbungen sind in der nachfolgenden Tabelle 1 aufgeführt (Kielbassa, Wrbas, 2000).

Metall (Salz)	Quelle	Farbe
Cadmium (Cd)	beruflich	gelblich bis gold
Eisen (Fe)	Medikamente (Blutkrankheit)	(grau) schwarz
Kalium (K)	Desinfektion (K-permanganat)	violett bis schwarz
Kupfer (Cu)	beruflich, Spüllösung	grün
Nickel (Ni)	beruflich	grün
Silber (Ag)	Desinfektionslösung	graubraun, grauschwarz
Zinn (Sn)	Spüllösung, Zahnpaste (Zinnfluorid)	goldbraun

**Tab. 1:** Tabelle der Metalle bzw. Metallsalze und deren Auswirkung auf Zahnverfärbungen.

Auf welche chemische Reaktion diese Art von Verfärbungen zurückzuführen ist, ist noch nicht genau geklärt. Möglicherweise findet eine Reaktion mit den auf der Zahnoberfläche vorhandenen Sulfidgruppen statt (Addy, Moran, 1995).

Die Klassifikation nach Nathoo (1997) veranschaulicht die verschiedenen Verfärbungsarten in Abhängigkeit ihrer chemischen Grundlagen.

#### N 1-Typ: „Direct dental stain“

Das Chromogen bindet an das Pellikel (Schmelzoberhäutchen) des Zahnes, wobei die Farbe des Chromogens und die Verfärbung identisch sind. Ursache hierfür können Kaffee, Wein und Tee sein. Die verantwortlichen Substanzen sind Tannine, Kupfer-, Nickel- und Eisenionen.

#### N 2-Typ: „Adhesive direct dental stain“

Das Chromogen bindet an die Zahnoberfläche und erfährt nach Einlagerung in das Pellikel eine Farbveränderung. Die Farbveränderung beruht entweder auf einer Akkumulation oder einer chemischen Modifikation, insbesondere in Gegenwart von Metallionen, Proteinen oder anderer Detergentien. Die Metallionenbindung führt zu einer stärkeren Haftung und daher ist die Entfernung schwieriger als beim N 1-Typ. Kaffee oder Tee als Ursache sind möglich.

#### N 3- Typ: „Indirekt dental stain“

Primär farblose Substanzen (Prächromogene) erfahren eine Transformation im Sinne einer chemischen Änderung. Im Laufe der Zeit kommt es zu einer Umsetzung von Aminosäuren mit reduzierenden Zuckern, braune pigmentartige Substanzen entstehen. Diese Eigenschaft besitzen beispielsweise Chlorhexidin oder Zinnfluorid.

Auch die bei kariösen Defekten auftretenden Verfärbungen gehören zu den extrinsischen Zahnverfärbungen. Aufgrund der verstärkten Demineralisation kommt es zu Farbstoffeinlagerungen in die poröse Zahnhartsubstanz.

Eine Sonderform der externen Verfärbungen ist der „Black stain“ im Milch- und Wechselgebiss, hervorgerufen durch pigmentbildende Bakterien. Diese Art von Verfärbung ist girlandenförmig am Gingivasaum anzutreffen und verschwindet spontan mit dem Eintritt der Pubertät durch Änderung der Bakterienzusammensetzung.

### **1.2.1.2 Interne Zahnverfärbungen**

Interne Zahnverfärbungen entstehen prä- oder posteruptiv und kommen sowohl im gesamten Gebiss, als auch lokalisiert an einzelnen Zähnen vor. Verursacht werden sie durch die Anwesenheit von chromogenen Substanzen innerhalb des Dentin bzw. des Schmelzes. Um die genaue Ursache der Verfärbung eruieren zu können, ist eine ausführliche Anamnese unumgänglich.

#### **1.2.1.2.1 Verfärbungen durch medikamentöse Einflüsse**

##### **1.2.1.2.1.1 Tetrazyklinverfärbungen**

Die Tetrazyklinanwendung während der Schwangerschaft und bei Kindern bis zum achten Lebensjahr führt im Milch- und permanenten Gebiss zu gelblichen und bräunlich-grauen Verfärbungen. Sie können einzelne Abschnitte oder die gesamte Zahnkrone betreffen. Tetrazyklin-Moleküle bilden mit den Kalziumionen des Hydroxylapatits komplexe Verbindungen und werden während der Zahnhartsubstanzbildung irreversibel in den Zahnschmelz oder das Dentin eingelagert (Hellwig et al., 2003). Durch Oxidation des Tetrazyklin-Moleküls können helle Veränderungen im Laufe der Zeit dunkler werden (Mc Evoy, 1989).

##### **1.2.1.2.1.2 Fluoroseverfärbungen**

In der Zeit der Zahnkronenentwicklung, bis zum achten Lebensjahr, können Fluoridkonzentrationen von über 0,05 mg/kg Körpergewicht pro Tag oder die einmalige kurzfristige Einwirkung hoher Fluoridkonzentrationen von 10µmol/ml Fluorid im Blutplasma die Schmelzbildung und Schmelzreifung beeinflussen (Hellwig et al., 2003).

Es kommt dabei zu einer Hemmung der Ameloblastenfunktion, woraus Hypomineralisationen des Schmelzes resultieren. Diese äußern sich in Form von weißen, opaken-, oder durch zusätzliche Einlagerung von Pigmenten bräunliche Flecken und Verfärbungen der Zähne.

#### **1.2.1.2.2 Zahnverfärbungen aufgrund von Strukturveränderungen und Fehlbildungen**

##### **1.2.1.2.2.1 Turner-Zahn**

Abzugrenzen von den Fluoroseverfärbungen sind die sog. Turner-Zähne. Sie weisen ebenfalls eine mit der opaken Fluorose vergleichbare Veränderung auf. Ursache dieser Veränderungen ist eine apikale Parodontitis des Milchzahnes, die zu einer gestörten Entwicklung des bleibenden Nachfolgers führen kann. Im Gegensatz zur fluorotischen Veränderung tritt diese Art der Verfärbung streng lokalisiert auf. Es können weißlich-opake Verfärbungen bis hin zu hypoplastischen Defekten von Schmelz und Dentin auftreten.

##### **1.2.1.2.2.2 Dentinogenesis imperfecta hereditaria**

Die Dentinogenesis imperfecta hereditaria ist eine Anomalie der Dentinstruktur, bei der es zu Schmelzsprüngen und Obliterationen kommen kann. Der Zahn erscheint dabei rötlich- braun oder grau verfärbt.

##### **1.2.1.2.2.3 Amelogenesis imperfecta**

Als Amelogenesis imperfecta wird eine Hypoplasie bis hin zur Aplasie des Zahnschmelzes bezeichnet. Durch das Fehlen des Zahnschmelzes liegt das dunklere Dentin frei, was mit gelblich-braunen Verfärbungen einhergeht. Zudem steigt das Risiko der Kariesentstehung, da der Schutz des Zahnes durch den Schmelz nicht mehr gegeben ist.

#### **1.2.1.2.2.4 Taurodontismus**

Als Taurodontismus werden übergroße Zahngebilde bezeichnet. Aufgrund der im Röntgenbild sichtbar vergrößerten Zahnwurzeln und Pulpenkaven erscheinen die Zähne dunkler.

#### **1.2.1.2.2.5 Globodontismus**

Bei dem Globodontismus sind kugelförmige Zahnkronen mit rundlichen, untergeordneten Höckern zu erkennen. Die autosomal-dominant vererbte Zahnanomalie ist gekennzeichnet durch einen röntgenologisch und histologisch verkleinerten Schmelzanteil, bei dem das Pulpenkavum erweitert ist. Dadurch erscheinen die Zähne dunkler und nehmen eine bräunliche Farbe an.

#### **1.2.1.2.2.6 Hutchinson-Zähne**

Bei den Hutchinson-Zähnen handelt es sich um eine Strukturanomalie aufgrund einer kongenitalen Syphilis. Besonders häufig betroffen sind die bleibenden mittleren Schneidezähne. Gekennzeichnet ist diese Krankheit durch halbmondförmige Ausbuchtungen der Schneidekante. Durch das an manchen Stellen durchscheinende Dentin erscheinen die Zähne oft dunkler.

#### **1.2.1.2.3 Zahnverfärbungen aufgrund systemischer Erkrankungen**

##### **1.2.1.2.3.1 Erythroetische Porphyrie**

Bei der erythroetischen Porphyrie handelt es sich um eine Störung der Hämsynthese im Knochenmark. Durch eine übermäßige Porphyrinproduktion kommt es zur Einlagerung der Porphyrine ins Dentin und die Zähne erscheinen rotbraun verfärbt.

#### **1.2.1.2.3.2 Morbus hämolyticus neonatorum**

Der Morbus hämolyticus neonatorum ist eine Erkrankung, die auf einer Rhesus-Faktor-Unverträglichkeit der Eltern basiert. Das Kind weist Agglutinationen, Hämolyse und starke Fehlbildungen auf, die auch die Zähne betreffen. Zudem können die Zähne grün, gelb oder grau verfärbt erscheinen.

#### **1.2.1.2.3.3 Thalassämie**

Die Thalassämie ist ein Krankheitsbild, bei dem aufgrund eines Gendefektes das Hämoglobin nicht ausreichend gebildet bzw. abgebaut wird. Eine schwere Anämie, Ikterus und Hämochromatose (erhöhte Aufnahme von Eisen) sind die Folge. Durch die Überladung des Körpers mit Eisen reichert dieses sich u. a. im Dentin an und führt zu grünlich-blauen bis braunen Veränderungen.

#### **1.2.1.2.3.4 Sichelzell-Anämie**

Die Sichelzellanämie ist eine Erbkrankheit, die durch einen genetischen Defekt ausgelöst wird. Es kommt zur Ausbildung irregulären Hämoglobins, dem sog. Sichelzellhämoglobin. Wie bei der Thalassämie kommt es zur Anreicherung von aus dem Blut stammenden eisenhaltigen Pigmenten im Dentin, was zu grünlich-blauen bis braunen Verfärbungen führt.

#### **1.2.1.2.4 Iatrogene Einflüsse auf die Zahnfarbe**

Eine bakterielle Infektion der Zahnpulpa kann ebenfalls für eine Zahnverfärbung verantwortlich sein. Im Zuge eines Traumas, durch eine Vitalexstirpation oder eine unvollständige Entfernung des koronalen Pulpaanteils im Rahmen einer endodontischen Behandlung, kann Blut aus der Pulpa in die Dentintubuli eintreten. Blutabbauprodukte wie Hämosiderin, Hämin, Hämotoidin und Hämatoporphyrin können in die Dentintubuli hineindiffundieren. Durch den von Bakterien gebildeten Schwefelwasserstoff entsteht schwärzliches Eisensulfid, welches den Zahn braun-schwarz verfärbt.



Eine weitere häufige Ursache diskolorierter, avitaler Zähne sind im Pulpenkavum verbleibende Reste von Wurzelfüllmaterialien (Attin et al, 2003).

Das am häufigsten eingesetzte Wurzelfüllmaterial auf Guttaperchabasis ist ein kautschukähnliches Harz und wird in Stiffform in den Wurzelkanal eingebracht. Aufgrund seiner orangenen Farbe kann es zu Diskolorationen des Zahnes führen. Um dies zu verhindern sollte die Guttaperchawurzelfüllung mit einem heißen Instrument im Bereich unterhalb der Krone entfernt werden.

Auch Silberstifte können im Rahmen einer endodontischen Behandlung zum Einsatz kommen. Aufgrund ihrer Biegsamkeit und gleichzeitiger Stabilität sind sie auch für schwer zugängliche Wurzelkanäle geeignet. Bedingt durch ihre Korrosionsfähigkeit können die Korrosionsprodukte in die Zahnhartsubstanz eindringen und den Zahn schwarz verfärben.

Weitere korrosionsfähige Materialien wie Amalgame können ebenfalls durch Abgabe und Diffusion von metallischen Partikeln in das Zahnhartgewebe zu farblichen Veränderungen des Zahnes führen. Der Zahn erscheint an bestimmten Bereichen grau bis schwarz verfärbt, was die Differentialdiagnose einer Karies erschweren kann. Reduziert werden kann das Risiko der Diffusion von metallischen Partikeln durch Legen einer Unterfüllung mit beispielsweise Phosphatzement.

Traumata geringeren Ausmaßes können zu einer lokal überschießenden Dentinbildung im Sinne einer Obliteration führen. Dabei wird die gelbliche Dentinschicht dicker und der Zahn erscheint insgesamt dunkler (Kielbassa, Wrbas, 200).

#### **1.2.1.2.5 Altersbedingte Zahnverfärbungen**

Mit zunehmendem Alter tritt eine generalisierte Farbveränderung der Zähne hin zu einem dunkleren Bereich auf. Hierfür verantwortlich sind die verstärkte Sklerosierung des Dentins und Pulpaobliterationen durch verstärkte Dentinapposition (Feinmann et al., 1987).

Auch physiologische Abrasionen der Zähne können zu Farbveränderungen führen. Da sich der Zahnschmelz hierbei abnutzt und das gelbliche Dentin sichtbar wird, erscheint der Zahn dunkler. Zudem können in die durch die Abrasion freiliegenden Dentinkanälchen Farbstoffe penetrieren und zu Farbveränderungen führen.

### **1.2.1.2.6 Kariöse Zahnverfärbungen**

Karies ist die häufigste Erkrankung der Zähne des Menschen. Sie ist als eine lokalisierte Erkrankung der Zahnhartgewebe definiert, die durch das Zusammenwirken potentiell pathogener Mikroorganismen und potentiell pathogener ökologischer Faktoren entsteht (Hellwig et al., 2003). Dabei produzieren kariogene Mikroorganismen der Mundhöhle (Plaque) bei einem Überangebot kariogener Substanzen (Kohlehydrate) schwache organische Säuren. Durch den Faktor Zeit kommt es bei einer langen Einwirkdauer der Säuren auf die Zahnhartsubstanz (Wirt) zu einem pH-Wert Abfall (unter pH 5,7) in der Mundhöhle und schließlich zu einer Entmineralisierung der Zahnhartsubstanz. Erst das Zusammenwirken der drei Hauptfaktoren Plaque, Kohlehydrate und Wirt führt demnach zur Zerstörung und einer damit verbundenen Dunkelfärbung der Zahnhartgewebe.

Bei diesem multifaktoriellen Geschehen gibt es zahlreiche sekundäre Faktoren, die die Entstehung einer kariösen Läsion beeinflussen. Hierzu zählen beispielsweise der Speichelfluss und Zusammensetzung des Speichels, Pufferkapazität des Speichels, Dauer und Häufigkeit der Substratzufuhr, Immunabwehr, sozioökonomische und verhaltensbezogene Komponenten und Zahnfehlstellungen und -bildungen.

Der Speichel besteht zu 99% aus Wasser und anorganischen oder organischen Substanzen, deren Konzentration individuell stark variiert. Zu den wichtigsten anorganischen Bestandteilen zählen Natrium, Kalium, Kalzium, Phosphat, Chlorid, Magnesium, Hydrogenkarbonat und Fluorid. Die wichtigsten organischen Bestandteile sind Enzyme, Proteine und Glykoproteine (Muzine). Sekretionsrate, Stimulationsgrad, Stimulationsart und -dauer, vorherrschende Drüse und diätische Einflüsse bestimmen die Zusammensetzung des Gesamtspeichels (Hellwig et al., 2003). Dem Speichel unterliegen zahlreiche Funktionen, die in Tabelle 2 aufgeführt sind.

Funktion	Beteiligte Speichelkomponenten
1. Spülfunktion	Gesamtflüssigkeit
2. Pufferung von Säuren	Bikarbonat, Phosphat, Proteine
3. (Re-) Mineralisation	Fluorid, Phosphat, Kalzium, Statherin
4. Beschichtung	Glykoproteine, Muzin
5. Antibakterielle Aktivität	Antikörper, Lysozym, Laktoferrin, Laktoperoxidase
6. Andauung von Nahrung	Amylase, Proteasen

**Tab. 2:** Die einzelnen Speichelkomponenten mit ihren jeweiligen Funktionen die sie im Speichel erfüllen (Hellwig et al., 2003).

Die Speichelgesamtmenge beträgt 0,5-1,0 l pro Tag und führt bei Verminderung zu einem erhöhten Kariesrisiko. Dem Speichel unterliegen zwei Puffersysteme: der Phosphat- und der Bikarbonatpuffer. Der Bikarbonatpuffer spielt eine wichtige Rolle während der Säurebildungsphase der Plaque. Mit steigender Speichelsekretion steigt der Bikarbonatgehalt im Speichel. Das Bikarbonat diffundiert durch die Plaque und neutralisiert die auf den Zahn einwirkenden organischen Säuren. Dadurch können bereits demineralisierte Zahnbereiche durch den Speichel remineralisiert werden. De- und Remineralisationsprozesse führen zu optischen Veränderungen in den Zahnhartgeweben, die ebenfalls einen Einfluss auf die Farbe nehmen.

### 1.2.2 Indikationen zur Korrektur der Zahnfarbe

Die Zahnfarbe kann durch viele verschiedene Möglichkeiten verändert bzw. korrigiert werden. Das Spektrum reicht vom täglichen Zähneputzen des Patienten und der professionellen Zahnreinigung bis hin zu invasiven prothetischen Eingriffen.

### 1.2.2.1 Zahnreinigung

Die wichtigste Maßnahme zur Prophylaxe verfärbter Zähne ist das tägliche Zähneputzen des Patienten. Hierbei werden die sich fortwährend neu bildende Plaque und die damit verbundenen externen Verfärbungen entfernt. Somit reduziert sich das Risiko der Kariesentstehung. Die Plaque, ein strukturierter, zäher, verfilzter Zahnbelag aus Speichelbestandteilen, Nahrungsresten, bakteriellen Stoffwechselprodukten und Bakterienzellen, ist ausschließlich mechanisch entfernbar (Hellwig et al.; 2003).

Der Patient kann demnach mit Zahnbürste, Zahnpaste, Zahnseide und Interdentälbürstchen die supragingival gelegene Plaque entfernen.

Die Handzahnbürste sollte bei der Reinigung einige Kriterien erfüllen. Der Bürstenkopf sollte so klein sein, dass auch die gründliche Reinigung der distalen Flächen der letzten Molaren gut möglich ist. Die Bürsten des Kopfes sollten multi-tufted, mit einem gerade angeordneten Borstenfeld ausgestattet sein (Gülzow, Opel, 1975; Topoll, 1993). Als Alternative zu Handzahnbürsten kommen für die Reinigung der Zähne elektrische Zahnbürsten in Betracht. Diese lassen sich in oszillierende und Ultraschall betriebene Modelle unterscheiden. Die Wahl kann je nach Vorlieben des Patienten getroffen werden. Oszillierende Bürstenköpfe sollten girlandenförmig am Übergang von Zahnfleisch zum Zahn entlang geführt werden, während Ultraschallzahnbürsten längere Zeit an die zu reinigenden Zahnreihen gehalten werden und nur langsam geführt werden sollten. Prinzipiell ist es wichtig, bei der Zahnreinigung, egal mit welcher Zahnbürste, einen hohen Druck auf die Zähne und die Gingiva zu vermeiden, da so Rezessionen bis hin zu keilförmigen Defekten entstehen können.

Die Zahnreinigung erfolgt grundsätzlich mit dem Einsatz von Zahnpasten. Dabei erfüllen diese drei Aufgaben: Sie säubern und polieren die Zahnoberfläche und erfrischen den Atem, sie dienen der Plaqueentfernung und enthalten pharmakologisch wirksame Substanzen. Um dies zu erreichen enthalten sie diverse Inhaltsstoffe wie Abrasivstoffe (Schleif- und Polierkörper), Hilfsmittel (Suspensionsmittel, Binde- und Verdickungsmittel, Konservierungsstoffe), Geschmacks- und Farbstoffe, Tenside und medikamentöse Zusätze (Fluoride, Chlorhexidin) (Hellwig et al., 2003).

Die subgingival gelegene Plaque, Zahnstein und Konkremente und damit verbundenen Verfärbungen, können nur durch eine professionelle Zahnreinigung beim Zahnarzt

entfernt werden. Diese sollte je nach Bedarf mindestens ein- bis zweimal im Jahr erfolgen. Hierbei wird der Zahn mit entsprechenden Ultraschallgeräten, Sandstrahlern und/ oder Küretten gereinigt und die Zahnoberfläche anschließend poliert. Diese Politur verringert die Anlagerungsfläche der Plaque auf dem Zahn und erfolgt mit Bürstchen und Gummikelchen, die mit entsprechenden Polierpasten bestückt werden.

Kann durch eine Reinigung der Zähne das gewünschte Farbergebnis nicht erzielt werden, ist über weitere Therapien zu entscheiden. Je nach Verfärbungs- und eventuellem Zerstörungsgrad des Zahnes können restaurative Maßnahmen wie Füllungen, Veneers oder Kronen zum Einsatz kommen.

### **1.2.2.2 Füllungen**

Die füllungstherapeutischen Maßnahmen lassen sich unterteilen in die direkte Füllungstherapie- einzeitig- und die indirekte Füllungstherapie mit im Labor gefertigten Einlagefüllungen. Als direkte Füllungsmaterialien kommen Komposite, Glasionomerezemente, Amalgam und Goldhämmerfüllungen in Frage. Einlagefüllungen werden meist entweder aus Metall oder Keramik gefertigt.

Die Entscheidung für das jeweilige Füllungsmaterial kann entweder defektorientiert oder patientenbezogen gestellt werden. Gründe für die Auswahl können beispielsweise die Ästhetik, die finanzielle Situation des Patienten, eventuelle gesundheitliche Risiken, aber auch die Größe und Ausdehnung des kariösen Defektes sein.

Komposite z.B. können defektorientierter und substanzschonender als Amalgam oder gar metallische Einlagefüllungen eingesetzt werden.

Bei der Indikation für Amalgam stehen der funktionelle und vor allem der finanzielle Aspekt im Vordergrund. Amalgam wird, wie alle anderen metallischen Restaurationen, ausschließlich im Seitenzahnbereich verwendet.

Steht der ästhetische Effekt im Vordergrund, kommen Komposite zum Einsatz, mit denen ein entsprechendes Ergebnis erzielt werden kann. Bedingt durch eine umfangreiche Farbauswahl und verbunden mit einer Schichttechnik, ist es möglich, die individuelle Farbe des Zahnes weitgehend nachzuempfinden.

Für eine optimale Farbgebung im Rahmen einer Füllungstherapie ist die im Labor gefertigte keramische Restauration die erste Wahl. Hier kann der Zahntechniker die

charakteristischen Merkmale und Farbnuancierungen der jeweiligen Zähne in nahezu perfektionistischer Weise imitieren. Einlagefüllungen kommen bei mittelgroßen und großen Klasse-I- und -II-Kavitäten zum Einsatz, insbesondere, wenn eine Matrizentechnik zum Einbringen von plastischen Füllungsmaterialien nicht mehr einwandfrei möglich ist.

### **1.2.2.3 Kronen**

Ist der Zahn soweit zerstört, dass weder eine Versorgung mit einem plastischen Füllungsmaterial noch mit einer Einlagefüllung möglich ist, ist eine Überkronung des Zahnes zu erwägen. Kronen können als Vollguss-, Verblend- oder Vollkeramikronen eingesetzt werden. Voraussetzung dafür ist ein gesundes Parodont, ein vitaler Zahn oder eine suffiziente Wurzelfüllung, keine apikalen oder pathologischen Veränderungen und ausreichend gesunde Zahnschubstanz, um der Krone Halt zu bieten.

Die Vollgusskrone wird aus Metall gefertigt und ist wie schon die Metalleinlagefüllung im Seitenzahnbereich indiziert.

Eine Verblendkrone besteht aus einem Metallgerüst und wird mit einer Verblendung aus Kunststoff oder Keramik vestibulär oder über alle Flächen versehen. Dementsprechend kann diese Art der Versorgung auch im Frontzahnbereich zum Einsatz kommen. Bei der Vollkeramikkrone wird vollständig auf ein Metall-Gerüst verzichtet. Diese kann - wie die Verblendkrone- im Front- und Seitenzahnbereich eingesetzt werden. Voraussetzung ist eine zirkulär vollständige Schmelzbegrenzung oder zumindest die Möglichkeit der absoluten Trockenlegung.

### **1.2.2.4 Veneers**

Eine substanzschonendere Alternative zur vollständigen Überkronung bildet die Restauration eines Zahnes mit einem Veneer. Sie ist dann indiziert, wenn Verfärbungen oder den Patienten störende Veränderungen die gesamte Fazialfläche eines einzelnen Zahnes oder mehrere Zähne betreffen. Ein Veneer fasst schalenartig die frontale Fläche eines Zahnes mitsamt der Schneidekante und kann direkt oder indirekt hergestellt

werden. Die direkte Verblendtechnik erfolgt in einer Sitzung und wird, nach entsprechender Präparation, mit einem Komposit vorgenommen.

Bei der indirekten Technik wird im zahntechnischen Labor auf einem Modell das entsprechende Veneer hergestellt und in der zweiten Sitzung eingesetzt. Das indirekt hergestellte Veneer kann zwar ebenfalls aus Komposit hergestellt werden, jedoch ist bei diesem Herstellungsverfahren den keramischen Materialien und ihren besonderen Qualitäten der Vorzug zu geben. Bei stark verfärbten Zähnen kann während des Verklebens des Veneers mit dem Zahn ein gefärbtes, niedrig visköses Komposit (Opaker) auf die verfärbte Fläche aufgebracht und ausgehärtet werden.

### **1.2.3 Die verschiedenen Bleichsysteme**

Grundsätzlich muß man zwischen dem Bleichen von avitalen und vitalen Zähnen unterscheiden.

Vitale Zähne werden ausschließlich von außen her- extern- gebleicht, während avitale Zähne primär von innen- intern- und nach Bedarf auch zusätzlich von extern aufgehellert werden. Dabei finden verschiedene Bleichsubstanzen wie Wasserstoffperoxid, Natriumperborat oder Carbamidperoxid Verwendung.

#### **1.2.3.1 Chemische Grundlagen**

Der Wirkmechanismus der verschiedenen Bleichsubstanzen ist prinzipiell ähnlich und wird hier am Beispiel des Carbamidperoxids und dem entstehenden Wasserstoffperoxid erläutert.

Beide bei der Studie eingesetzten Bleichmittel haben die gleichen Inhaltsstoffe, bestehend aus einem Pulver mit Siliciumdioxid und Natriumhydroxid und einer Flüssigkeit aus Wasserstoffperoxid und Phosphorsäure. Da das Wasserstoffperoxid in dieser Form sauer ist, wird es zwecks Neutralisation mit dem Pulver angemischt.

Bei der Reaktion mit dem Natriumhydroxid kommt es zur Salzbildung und zu einer Neutralisation des pH-Wertes. Dadurch zerfällt das Wasserstoffperoxid schneller.

Die chemische Reaktion des Wasserstoffperoxids läuft folgendermaßen ab:  $2 \text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow 2 \text{H}_2\text{O} + \text{O}_2$  und  $2 \text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow \text{H} + \text{HO}_2$ . Das Wasserstoffperoxid zerfällt in verschiedene

Radikale bzw. Perhydroxyl- oder Hydroxylionen. Diese Zerfallsprodukte besitzen eine oxidative Reaktionskraft und stellen die aktive Bleichsubstanz dar. Bei dem Carbamidperoxid ist das Wasserstoffperoxid ein Reaktionsprodukt und ebenfalls für den Bleichvorgang von entscheidender Bedeutung. Durch Kontakt mit der Zahnhartsubstanz, Ionen, Speichelproteinen oder Feuchtigkeit zerfällt das Carbamidperoxid sofort in Harnstoff und Wasserstoffperoxid im Verhältnis 3:7 (Pascher, 2004). Der entstehende Harnstoff wird zu Ammonium und Kohlendioxid abgebaut. Das Ammonium ist eine starke Base und erhöht dadurch den pH-Wert des Bleichgels. Wird der pH-Wert eines Bleichmittels erhöht, entstehen mehr freie Perhydroxyl-Radikale und der Bleicheffekt ist in der gleichen Zeit um 50 % effektiver als bei anderen pH-Werten (Sun, 2000). Zudem kann die Remineralisation des Zahnschmelzes durch den erhöhten pH-Wert gefördert werden.

Die eigentliche Wirkungsweise des Zähnebleichens beruht auf der Oxidation verfärbter organischer Komponenten (Feinmann et al., 1987).

Durch die Oxidation werden ungesättigte Doppelbindungen großer farbiger Moleküle gespalten. Dies führt zu einer Eigenschaftsänderung des Moleküls, was wiederum zur Änderung der Farbe führt. Desweiteren können farbige Metalloxide (z.B.  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) zu farblosem FeO reduziert werden (Attin, 1998).

Das Siliziumdioxid dient dem Andicken der Flüssigkeit und der damit verbundenen besseren Applikationsmöglichkeit des Bleichmittels.

Bei Licht-, Wärme- oder Laser-aktivierten Bleichverfahren ist die chemische Reaktion gleich. Durch die zugeführte Energie erreicht man eine Temperatursteigerung, was zu einer verkürzten Reaktionszeit führt. Dadurch soll sich die klinisch notwendige Einwirkungszeit des Bleichmittels auf den Zahn verringern.

### **1.2.3.2 Bleichtechniken**

Für die Aufhellung von Zähnen stehen verschiedene Bleichsysteme zur Verfügung. Es kann zwischen einem Bleichen, das zu Hause durchgeführt wird („Homebleaching“) und dem beim Zahnarzt durchgeführten Bleichen („In-Office-Bleaching,“) unterschieden werden. Die Unterschiede liegen in der Art des Anwendungsverfahrens, der Konzentration und der Anwendungsdauer des Bleichmittels. In der Zahnarztpraxis ist



die Konzentration höher und die Anwendungszeit kürzer, beim Bleichen zu Hause entsprechend umgekehrt. Bei der Anwendung lassen sich verschiedene Verfahren unterscheiden.

#### **1.2.3.2.1 Internes Bleichen**

Das interne Bleichen kommt ausschließlich bei avitalen Zähnen zum Einsatz (Krause et al., 2004).

Man unterscheidet hierbei die thermokatalytische Technik von der Walking-Bleach-Technik. Bei dem thermokatalytischen Verfahren wird das Bleichmittel im koronaren Pulpenkavum erwärmt, um somit eine beschleunigte chemische Reaktion auszulösen. Aufgrund der möglichen Nebenwirkungen in Form von erheblichen externen Wurzelresorptionen bei diesem Verfahren wird eher zu der schonenderen Walking-Bleach-Technik geraten. Hierbei wird das Bleichmittel, bestehend aus 3%igem Wasserstoffperoxid/Wasser und Natriumperborat, für mehrere Tage als intrakoronale Einlage belassen. Gegebenenfalls kann bis zum Erreichen des gewünschten Aufhellungsgrades die Anwendung mehrmals wiederholt werden. Nach Erreichen des Ergebnisses sollte sich, um das saure Milieu zu neutralisieren, eine 14-tägige Kalziumhydroxideinlage anschließen, und danach die Zugangskavität mit einer Kompositfüllung versorgt werden.

Eine Grundvoraussetzung für das Bleichen wurzelgefüllter Zähne ist das Vorhandensein von genügend gesunder und stabiler Zahnhartsubstanz. Von einer radikalen Entfernung harten, verfärbten Dentins ist aufgrund der unnötigen Schwächung des Zahnes abzuraten.

#### **1.2.3.2.2 Externes Bleichen**

Das externe Bleichen kann in der Zahnarztpraxis durch den Behandler oder vom Patienten selbst zu Hause durchgeführt werden. Zu den Möglichkeiten des „In-Office-Bleachings“ zählen die thermokatalytische Methode und die Mikroabrasion. Zu den Verfahren, die in häuslicher Anwendung vorgenommen werden, zählt die Home-Bleaching-Methode.

#### **1.2.3.2.2.1 Home bleaching**

Beim Home-Bleaching, oder auch Nightguard-Vital-Bleaching genannt, wird in der zahnärztlichen Praxis, nach ausführlicher Untersuchung und Aufklärung des Patienten, eine Abformung vorgenommen und auf den Modellen eine Schiene im Labor hergestellt. Dabei sind eine optimale Passung und korrekter zervikaler Abschluß zur Vermeidung gingivaler Irritationen anzustreben. Zu Hause wird die Schiene mit einem niedrig konzentrierten Bleichmittel, 10%-17%iges Carbamidperoxidgel, beschickt. Das Carbamidperoxid zerfällt in 3,4%  $H_2O_2$  und in 6,6% Harnstoff. Die aktive Bleichsubstanz ist dabei, wie in Kapitel 1.2.4.1 bereits erläutert, das  $H_2O_2$ .

Während früher die Empfehlung ausgesprochen wurde, die Schiene über Nacht zu tragen („Nightguard-Vital-Bleaching“), geht man heute dazu über, das Bleichmittel etwa zwei Stunden am Tage einwirken zu lassen, da dieser Zeitraum für die Wirksamkeit völlig ausreichend ist, ohne dass es zu unangenehmen Nebenwirkungen wie Überempfindlichkeiten kommen kann.

#### **1.2.3.2.2.2 In-Office-bleaching**

Bei dem In-Office-Bleaching wird die Behandlung ausschließlich in der Praxis durchgeführt. Auch hier wird zuvor eine individuelle Schiene passgenau im Labor hergestellt und mit 30-35%igem Carbamidperoxid beschickt. Aufgrund der höheren Konzentration wird sie nur ca. 30 Minuten lang getragen. Dieser Vorgang kann mehrmals, bis zum Erreichen des gewünschten Ergebnisses, wiederholt werden. Im Anschluss daran sollte eine fachgerechte Fluoridierung vorgenommen werden.

#### **1.2.3.2.2.3 Chair-side-bleaching**

Das Chair-Side-Bleaching, oder auch Power-Bleaching genannt, erfolgt unter Kofferdamschutz. Ein flüssiger Kofferdam wird zum Schutz der Gingiva appliziert und ausgehärtet. Dann wird 30%iges Wasserstoffperoxid für ca. 20 Minuten auf die zu bleichenden Zahnflächen aufgebracht und zum Teil zusätzlich mit einer Plasma- oder Halogenlampe oder einem speziellem Laser aktiviert (Lips, 2004). Durch die Wärme

wird die Freigabe von naszierendem Sauerstoff gefördert und damit die Bleichwirkung verstärkt. Die Behandlung kann bis zu 3-mal in einer Sitzung wiederholt werden. Auch hier sollte sich eine Fluoridierung anschließen.

### **1.2.3.3 Applikationsverfahren zum externen Bleichen**

Neben den oben genannten beim Zahnarzt erfolgten Bleichmethoden existieren eine Vielzahl verschiedener externer Bleichmethoden v. a. für die Anwendung zu Hause. Diese Produkte werden als kosmetische Mittel eingestuft und können vom Patienten in verschiedenen Darreichungsformen ohne ärztliche Verschreibung erworben werden.

Eine populäre Methode ist das Zahnaufhellen mittels durchsichtiger mit 5,3%igem bzw. 6,5%igem Wasserstoffperoxid imprägnierter Polyethylenstreifen. Zwei Wochen lang wird hierbei zweimal täglich jeweils 30 Minuten lang ein Streifen über die Zahnreihen gelegt bis das gewünschte Ergebnis erreicht ist.

Das Auftragen des Wirkstoffs auf die Zähne ist auch mit einem Pinsel möglich.

Eine weitere Methode ist ein vorgefülltes adaptierbares System, das den gesamten Zahnbogen umschließt. Als Bleichmittel kommt hierbei 9%iges Hydrogen Peroxidgel zum Einsatz (Krause et al., 2004).

Nachteil der frei erhältlichen Bleichverfahren ist, dass sie keiner zahnärztlichen Aufsicht unterliegen und eventuell auftretende Nebenwirkungen durch den Patienten selbst gar nicht oder zu spät erkannt werden. Bei den meisten Verfahren ist auch ein mangelnder Schutz der Gingiva kritisch zu bewerten, z. B. beim Überquellen des Peroxidgels beim Andrücken des vorgefüllten adaptierbaren Systems.

Auch sogenannte „Whitening-Zahnpasten“ sind frei erhältlich und finden zum Aufhellen von Zähnen während der täglichen Reinigung Anwendung. Aufgrund der großen Nachfrage gibt es eine Fülle an Produkten wie beispielsweise blend-a-med medicweiß® (blend-a-med), Settima® oder Colgate Sensation White® (Colgate). In einer Studie wurden verschiedene Produkte im Bezug auf ihre Wirkungen und Nebenwirkungen getestet, wobei bei der Mehrzahl für die Auslobung einer speziellen Reinigungsleistung eine höhere Abrasion in Kauf genommen wird. Auch der Aufhellungseffekt vieler Produkte ist im Vergleich zu normalen Zahnpasten eher zu vernachlässigen. Zudem werden einige der getesteten Zahnpasten als stark oberflächenrauend bewertet, was

insbesondere im Bereich freiliegender Zahnhälse zu massiven Nebenwirkungen führen kann (Imfeld, Sener, 1999).

#### **1.2.3.4 Klinisches Vorgehen**

##### Untersuchung und Vorbehandlung

Vor Beginn jeder Bleichbehandlung wird der Patient einer professionellen Zahnreinigung unterzogen und eine eventuelle Versorgung kariöser Läsionen und ein Austausch von insuffizienten Restaurationen vorgenommen. Durch die Zahnreinigung lassen sich leichter entfernbare Verfärbungen von den zu therapierenden differenzieren. Zur Vermeidung von Hypersensibilitäten durch Penetration des Bleichagens in die Dentintubuli werden vor dem Bleichen freiliegende Dentinbereiche mit entsprechenden Dentinhaftvermittlern versiegelt (Wiegand und Attin, 2002). Die Mundschleimhaut sollte unauffällig und gesund sein, um die Traumatisierung der Gingiva zu minimieren. Zudem ist zu beachten, dass eine Bleichbehandlung vor der Versorgung mit neuen zahnfarbenen Restaurationen erfolgen sollte, da sich diese nicht aufhellen lassen. Bereits vorhandene suffiziente Restaurationen passen möglicherweise farblich nicht mehr zu den aufgehellten Zähnen nach dem Bleichen.

Nach erfolgter professioneller Zahnreinigung wird die Ausgangszahnfarbe bestimmt und gegebenenfalls photographisch dokumentiert. Der Patient sollte vor Beginn der Behandlung über mögliche Nebenwirkungen und Komplikationen im Rahmen des Bleichens aufgeklärt werden.

##### Abdrucknahme und Modellherstellung

Von den zu behandelnden Zähnen werden Abdrücke genommen, damit im Labor die entsprechenden Modelle hergestellt werden können. Auf dem Modell wird die Labialfläche der zu bleichenden Zähne mit einer ca. 0,5 mm dicken Kunststoffschicht ausgeblockt. Dadurch entsteht unter der später hergestellten Schiene ein Reservoir zur Aufnahme des Bleichmittels. Damit ein dichter Abschluss zervikal erreicht werden kann, endet die Ausblockung ca. 0,5-1 mm oberhalb der Gingiva.

### Herstellung einer weichen Applikationsschiene

Eine individuell angefertigte Trägerschiene wird im Labor hergestellt, die auf der Zahnoberfläche ca. 0,3 mm oberhalb des Gingivalsaumes endet. Eventuell freiliegende Dentinbereiche sowie Interdentalpapillen werden ausgespart.

### Anpassung der Schiene

Die Schiene wird im Patientenmund angepasst, wobei auf okklusale Interferenzen geachtet werden sollte. Der Patient erhält vom Zahnarzt eine Bleichmittelmenge für drei bis vier Anwendungen zu Hause. Der Bleicheffekt wird bei einem Kontrolltermin überprüft und eventuelle Komplikationen können kontrolliert werden. Im Anschluss erhält der Patient je nach Bedarf weitere Bleichmittel für die Anwendung zu Hause.

### Das Bleichen

Der Patient appliziert das Bleichgel in die entsprechenden Schienen. Überschüssiges Gel wird nach dem Einsetzen mit einem Watteträger vorsichtig entfernt. Üblicherweise wird die Schiene tagsüber für ca. 2 Stunden getragen, bei starken Verfärbungen kann eine verlängerte Trageperiode erfolgen. Nach der Entnahme der Schiene wird der Mund gut ausgespült, so dass kein Gel verschluckt wird. Anschließend sollte eine Remineralisation mit Fluoridgel erfolgen.

Das Bleichen in der Zahnarztpraxis unterscheidet sich je nach Methode insofern von der Home-Bleaching-Methode, dass nicht unbedingt mit einer Schiene gearbeitet werden muss. Nach oben beschriebener Untersuchung und Vorbehandlung wird ein geeigneter Wangen-Lippenhalter eingesetzt und flüssiger Kofferdam zum Schutz der Gingiva aufgebracht. Als Schutz der Lippen werden diese mit Vaseline bestrichen. Die Bleichpaste wird nach Herstellerangaben angemischt und auf die Labialflächen der zu bleichenden Zähne ca. 1-2 mm dick aufgetragen. Die Paste wird während des Bleichvorgangs von Zeit zu Zeit neu verstrichen, da durch die entstehende Blasenbildung eine Verschlechterung der Benetzung der Zahnoberfläche auftreten kann. Nach ca. 10-minütiger Einwirkzeit wird das Bleichagens abgesaugt und das Bleichergebnis überprüft. Ist die gewünschte Bleichwirkung noch nicht erreicht, kann der Vorgang bis zu dreimal wiederholt werden. Nach dem letzten Bleichvorgang wird die Paste sorgfältig abgesaugt und gründlich mit Wasserspray abgespült. Im Anschluss wird

die Zahnfarbe erneut bestimmt. Die Remineralisierung der Zähne wird wiederum mit Fluoridlösung oder Fluoridgel durchgeführt.

Die Anwendung lasergestützter Verfahren ist bis auf die Laserbestrahlung der Zähne nach Auftragen des Bleichmittels gleich. Z.B. mit einem Diodenlaser wird der Zahn jeweils 45 Sekunden lang bei einer Wellenlänge von 800-980 nm bestrahlt, um das Bleichmittel zu aktivieren. Durch den Laser verkürzt sich die Einwirkzeit des Mittels auf 5-7 Minuten (Deltamed, 2004)

Das Bleichen avitaler Zähne erfolgt in der Regel mit der Walking-Bleach-Technik. Der Behandlungsablauf ergibt sich wie folgt:

#### Endodontische Vorbehandlung

Eine evtl. vorhandene Karies im Bereich der Trepanationsöffnung wird entfernt und eine möglicherweise insuffiziente Wurzelfüllung revidiert. Die Wurzelfüllung wird ca. 2 mm unterhalb des Gingivaverlaufes reduziert, wodurch eine mögliche Beeinträchtigung der Zahnfarbe verhindert werden kann. Mit einem entsprechendem Unterfüllungsmaterial (GIZ) wird die reduzierte Wurzelfüllung abgedeckt, so dass ein dichter Abschluss zum Pulpenkavum gewährleistet und ein Penetrieren des Bleichmittels in die Tiefe verhindert wird. Das freiliegende Dentin wird zur Entfernung der Schmierschicht mit einem Phosphorsäuregel konditioniert und danach mit Wasserspray gründlich abgewaschen. Das Bleichagens wird nach Herstellerangaben angemischt und in den Zahn eingebracht. Eventuell überstehende Feuchtigkeit kann mit einem Wattepellet oder einer Papierspitze abgesaugt werden. Die Zugangskavität wird danach dicht verschlossen und das Bleichmittel ca. eine Woche im Zahn belassen. Gegebenenfalls kann die Bleicheinlage mehrmals erneuert werden bis das gewünschte Ergebnis erreicht ist.

Nach Abschluss der Behandlung wird die Zugangskavität gründlich mit Natriumhypochlorid gespült, um verbliebene Peroxidreste vollständig zu entfernen. Eine Einlage mit Kalziumhydroxid sollte für zwei Wochen vorgenommen werden, um möglichen Komplikationen vorzubeugen. Die definitive Versorgung des Zahnes in Form einer adhäsiven Füllung kann im Anschluss an die medikamentöse Einlage erfolgen, da

nun nicht mehr mit einer sauerstoffbedingten Verminderung der Haftkraft des Komposits zu rechnen ist.

#### **1.2.4 Nebeneffekte des Bleichens**

Nach dem Bleichvorgang können bei allen Anwendungsapplikationen Nebenwirkungen auftreten, über die der Patient vor der Behandlung informiert werden sollte.

##### **1.2.4.1 Klinische Nebeneffekte des Bleichens**

###### **1.2.4.1.1 Nebeneffekte des externen Bleichens**

Gingiva:

Da Schleimhautirritationen in Form eines Brennens sowie partielle Schleimhautreaktionen durch Sauerstoffverätzungen, durch übermäßige Applikation des Bleichmittels hervorgerufen werden können, sollte überschüssiges Bleichmittel entfernt werden (Howard, 1992). Deshalb ist im Rahmen des Schienenbleichens darauf zu achten, dass die Ränder der Schiene supragingival dem Gingivaverlauf folgend zu liegen kommen (Attin, 1998, Glockner et al., 1997).

Ein positiver Nebeneffekt von peroxidhaltigen Bleichgelen liegt in der Eigenschaft der antimikrobiellen Wirkung auf anaerobe Bakterien, was klinisch durch eine Abnahme von Gingivaentzündungen erkennbar ist (Bose, Ott, 1994).

Zähne:

Missempfindungen und Hypersensibilitäten der Zähne und Zahnhäse nach dem Bleichen liegen im Mittel bei 60 % (Hopp, Biffar, 2004). Um eine Pulpairritation durch das Bleichmittel zu vermeiden, sollte vor jeder Behandlung eine gründliche Untersuchung hinsichtlich freiliegender Zahnhäse, Gingivarezessionen, Schmelzrissen, vorhandener Restaurationen und kariöser Läsionen erfolgen (Leonard et al., 1997). Gegebenenfalls sollten insuffiziente Füllungen und Restaurationen ausgetauscht und freiliegende Zahnhäse versiegelt werden. Eine fachgerechte Fluoridierung nach erfolgter Bleichtherapie kann ebenfalls das Risiko von Überempfindlichkeiten der Zähne

verringern. Hypersensibilitäten sind nach Unterbrechung der Behandlung in der Regel vollständig reversibel (Attin, 1998).

Füllungen:

Das Bleichen mit Carbamidperoxid ergab in einer rasterelektronischen In-vitro-Studie Brüche der Mikrofüller im Komposit, Oberflächenrauigkeiten bei Hybridkompositen und bei beiden einen minimalen Verlust der Oberflächenhärte (Glockner et al., 1997). Demnach ist damit zu rechnen, dass das Bleichen die Qualität vorhandener Kompositfüllungen reduziert (Bailey, Swift, 1992).

Amalgamfüllungen sollten mit einem Lack abgedeckt werden, da die Quecksilberkonzentration nach Kontakt mit wasserstoffabspaltenden Präparaten an der Oberfläche der Amalgamrestauration ansteigt (Hummert et al., 1993, Rotstein et al., 2000).

Zinkphosphatzemente und Glasionomerezemente weisen nach mehrstündiger Inkubation in 10 %iger Harnstoffperoxid-Lösung eine oberflächliche Degradation auf. Dies konnte mittels Rasterelektronenmikroskopie und Röntgen-Mikroanalyse festgestellt werden (Bose, Ott, 1994).

Laser:

Durch Einsatz eines Lasers wird der Bleichvorgang durch eine temperaturbedingte erhöhte Reaktionsgeschwindigkeit verkürzt. Eine Temperaturerhöhung der Pulpa von über 43° C kann zu einer reaktiven Hyperämie mit einer darauf folgenden Pulpitis führen (Baik et al., 2001; Raab und Müller, 1989). Neben dem Risiko einer Pulpitis könnte eine Erwärmung ebenfalls zu einem Trauma des Parodonts führen (Glockner et al., 1997).

Weitere Nebenwirkungen, insbesondere beim Schienenbleichen, können orthodontische Zahnbewegungen durch die Schiene, okklusale Probleme oder gar eine laxierende Wirkung durch das Bleichagens sein (Glockner et al., 1997).

Wichtig ist das gründliche Absprayen des Bleichmittels, um ein Verschlucken zu verhindern. Untersuchungen an Ratten zeigten, dass beim Verschlucken von 6 %igem Wasserstoffperoxid eine Belastung von 5g/kg Körpergewicht ausreicht, um schwere Verätzungen der Magenschleimhaut und einen Anstieg des Blutzuckers zu verursachen (Redmond et al., 1997).



Abzuraten ist von der alleinigen Anwendung mit 30%igem Wasserstoffperoxid, weil der niedrige pH-Wert des Bleichagens mit möglichen Schädigungen des Zahnhartgewebes in Verbindung gebracht werden kann (Hellwig et al., 2003; Willershausen et al., 2007).

#### **1.2.4.1.2 Nebeneffekte des internen Bleichens**

Zu den internen Nebeneffekten des Bleichens gehören u. a. zervikale Resorptionen der Zahnhartsubstanz. Sie werden vermutlich durch über die Dentintubuli nach außen diffundierendes Wasserstoffperoxid ausgelöst. Vorbeugend sollte deshalb eine dichte zervikale Unterfüllung gelegt werden, um so eine Diffusion des Wasserstoffperoxids zu verhindern. Zudem kann es zu externen zervikalen Resorptionen kommen (Hellwig et al., 2003).

Aufgrund der Sorge, verfärbtes Dentin nur ungenügend bleichen zu können, kann es durch zu großzügiges Entfernen von Dentin zu einer Schwächung und einer damit einhergehenden Frakturgefahr des Zahnes kommen. Auch Frontzähne mit großen Kompositfüllungen im Kronenbereich bergen zum einen die Gefahr einer Kronenfraktur, zum anderen ist das Ergebnis oft nicht zufrieden stellend, da Kompositfüllungen nicht aufgehellert werden können und anschließend erneuert werden müssen

#### **1.2.4.1.3 Ultrastrukturelle Veränderungen in den Zahnhartgeweben**

Ultrastrukturelle Veränderungen beinhalten die Mikrohärtigkeit und Zusammensetzung des Schmelzes, die Oberflächenmorphologie der Zähne sowie die Veränderungen die nach dem Bleichen auftreten können bezogen auf verschiedene Restaurationsmaterialien.

Durch die Anwendung von Bleichmitteln kann es in den obersten Schmelzbereichen (25 µm) zu einer Abnahme der Mikrohärtigkeit kommen. Durch das niedrige Molekulargewicht peroxidhaltiger Bleichmittel können diese in den Zahnschmelz penetrieren. Hierbei kommt es vor allem in tieferen Schmelzschichten zu oxidativen Effekten, da dort mehr organisches Material vorhanden ist. Dieser Oxidationsprozess ist in der Lage, äußere Schmelzschichten mit zu verändern (Hagedüs et al., 1999). Die Härteveränderung des Zahnschmelzes ist bleichmittelabhängig und ist- je nach pH-Wert und Zusatzstoffen- unterschiedlich (Akal et al., 2001). Bleichmittel mit niedrigen pH-Werten führen eher zu

einer Veränderung der Oberflächenmorphologie und einer Abnahme der Mikrohärtigkeit als Bleichmittel mit höheren pH-Werten (Shannon et al., 1993). Niedrigere pH-Werte können demnach schwerwiegendere Veränderungen hervorrufen (Shannon et al., 1993). Verschiedene Bleichmittel und -methoden können zu gravierenden Veränderungen des Zahnschmelzes führen. Die Intensitätsunterschiede der Veränderungen, die sie hervorrufen, sind hierbei wiederum unabhängig vom pH-Wert der Bleichagentien (McGuckin et al., 1992).

Höher dosierte Bleichmittel, die bei dem In-Office-bleaching zum Einsatz kommen, können zu einer signifikanten Härteverringerung des Zahnschmelzes (Lewinstein et al., 2004) und zu einem erhöhten Ionenverlust im Zahnschmelz und im Dentin führen (Al-Salehi et al., 2007). Dies wird durch diverse Studien bestätigt. Eine Untersuchung, bei der das 30%ige Hydrogen Peroxid zum Einsatz kommt, hat einen negativen Effekt auf den Mineral- und Organgehalt des Zahnschmelzes zur Folge (Jiang et al., 2008). Eine weitere zeigt eine Abhängigkeit bei der Veränderung der Oberflächenmorphologie des Zahnschmelzes und der Einwirkzeit des Bleichmittels. Hierbei ist zu erkennen, dass sowohl das Wasserstoffperoxid als auch das Karbamid Peroxid bei kurzer Einwirkung auf den Zahnschmelz nanomorphologische Veränderungen hervorrufen (Fu B. et al., 2007). Die länger andauernde Einwirkung derselben Bleichagentien kann zu mikromorphologischen Veränderungen des Zahnschmelzes führen. 35%iges lichtaktiviertes Hydrogen Peroxid und 38%iges Hydrogen Peroxid führen nach dem Bleichvorgang des Zahnschmelzes zu einem signifikanten Verlust von Kalziumionen (Tezel et al., 2007). Eine andere Studie belegt eine Abhängigkeit zwischen den negativen Einflüssen eines Bleichmittels und der Zeit. Hierbei kam Bitter zu dem Ergebnis, dass eine 14-tägige Bleichanwendung verschiedenster Bleichmittel zu einer Veränderung der Zahnschmelzflächen und der Schmelzprismen führt. Die 21-90-tägige Anwendung kann zu Veränderungen von tiefer liegenden Schmelzprismen und sogar des Dentins eines Zahnes führen (Bitter, 1998). Eine Untersuchung von Bistey et al. zeigt eine Veränderung des Zahnschmelzes im Rahmen des Home- und In-Office-Bleaching mit hoch und niedrig konzentriertem Hydrogen Peroxid (Bistey et al., 2007). Dies wird durch das Ergebnis einer Studie von Efeoglu et al. bekräftigt, bei der 35%iges Karbamid Peroxid zu einer signifikanten Demineralisierung des Zahnschmelzes führt (Efeoglu et al., 2007). Diese Ergebnisse werden durch eine weitere Untersuchung

bestätigt, die eine Modifizierung der Mikrohärtigkeit, Rauigkeit und Morphologie des Zahnschmelzes nach dem Einsatz von Peroxiden zur Folge hat (Pinto et al., 2004). Zalkind et al. zeigten eine deutlichere Oberflächenveränderung im Zement, verglichen mit anderen Geweben des Zahnes, nach dem Einsatz von Peroxiden (Zalkind et al., 1996). Im Rahmen der walking bleach technique kann es durch den Einsatz von Karbamid Peroxid zu einer homogenen Öffnung der Schmelzprismen kommen, während Hydrogen Peroxid eher oberflächlich liegende Schmelzschichten zerstört (Lena et al., 1992). Auch im Handel frei erhältliche, niedrig dosierte Bleichmittel, die über Nacht zum Einsatz kommen, können die Mikrohärtigkeit des Zahnschmelzes deutlich angreifen (Leonard et al., 2005). Wandera et al. kamen zu dem Ergebnis, kommerzielle Bleichmittel zur häuslichen Anwendung führen zu einem signifikanten Volumenverlust des Zahnschmelzes -dentins und -zements (Wandera et al., 1994). Nach der Einwirkung von 10%igem Karbamid Peroxid auf den Zahnschmelz kommt es zu einem Kalziumverlust, auch wenn dieser klinisch nicht signifikant ist (Mc Cracken, Haywood, 1996). Weiter kann es zu einer Veränderung der Schmelztopografie kommen (Shannon et al., 1993).

Gegensätzliche Studien resultieren in der Annahme, das Bleichen von Zähnen führe zu keinen Veränderungen im Zahnschmelz. Eine Studie über die im Handel erhältlichen Bleichstreifen erbringt das Resultat, dass das Bleichen zu keinen Veränderungen der Mikrohärtigkeit oder Oberflächenmorphologie der gebleichten Zahnflächen führt (Duschner et al., 2006). Bestätigt wird dies in einer Studie von White et al., 2004. Weiter rufen Bleichstreifen keine Veränderungen der Histomorphologie oder mikro-chemischen Mineralienzusammensetzung von Zahnschmelz hervor (Götz et al., 2007). Der Vergleich von Bleichgel und Bleichstreifen führt ebenfalls zu keinen Veränderungen der Oberflächenmorphologie der Zahnschmelzflächen (Auschill et al., 2007). Niedrig dosierte Bleichmittel wie 10%iges Karbamid Peroxid oder 7,5%iges Hydrogen Peroxid, die zum Beispiel bei dem Home-bleaching zum Einsatz kommen, rufen keine Veränderung der Mikrohärtigkeit des Zahnes hervor (Maia et al., 2008). Laut Tezel et al. führt 10%iges Karbamid Peroxid zu keinen Veränderungen des Zahnschmelzes (Tezel et al., 2007). Demnach beeinträchtigen niedrig dosierte, im Handel erhältliche Hydrogen Peroxid- haltige Bleichmittel weder die Morphologie noch die Mikrohärtigkeit des Zahnschmelzes (Pugh et al., 2005). Dies wird durch eine Untersuchung von Nucci et al.

bestätigt, bei der Bleichmittel, die bei dem Home-bleaching zum Einsatz kommen, keine Veränderungen der Oberflächenmorphologie des Zahnschmelzes hervorrufen (Nucci et al., 2004). Eine Studie von Cobankara et al., 2004 untermauert diese Aussage. Verglichen mit abrasiven Polierpasten führt 10%iges Karbamid Peroxid zu keinen Veränderungen, wohingegen abrasive Polierpasten eine signifikante Zunahme der Zahnschmelzrauigkeit hervorrufen (Worschech et al.).

Auch höher dosierte Bleichmittel rufen keine Veränderungen der Mikrohärtigkeit hervor (Polydorou et al., 2008). 30%iges Hydrogen Peroxid beispielsweise führt zu keiner Veränderung der Oberflächenmorphologie des Zahnschmelzes (Jiang et al., 2008). Dies bestätigt sich in Untersuchungen von Park et al., 2004 und Yurdukoru et al., 2003. Weiter ist der Mineralverlust nach dem Bleichen mit hoch dosiertem Hydrogen Peroxid nicht höher als nach dem Genuss eines Fruchtsafts (Lee et al., 2006). Auch der Vergleich von 30%igen Hydrogen Peroxid mit 37%iger Phosphorsäure zeigt, dass das Bleichmittel zu geringfügigen, die Phosphorsäure zu gravierenden Veränderungen der Oberflächenmorphologie des Zahnschmelzes führt (Ernst et al., 1996). Hochdosiertes Hydrogen Peroxid verglichen mit hoch dosiertem Karbamid Peroxid führt, auch nach multiplen Anwendungen, zu keinem Unterschied zwischen beiden im Bezug auf Veränderungen der Oberflächenrauigkeit des Zahnschmelzes (Cardenaro et al., 2008). Verschiedenste Bleichtechniken im Vergleich ergaben keine Oberflächenveränderung des Zahnschmelzes (Auschill et al., 2002). Demnach haben peroxidhaltige Bleichmittel keine schädlichen Effekte im Bezug auf die Oberflächenmorphologie, die chemische Zusammensetzung oder die Mikrohärtigkeit von oberflächlichen oder tiefer gelegenen Zahnschmelz- und Dentinschichten. Gegensätzliche Studien, bei denen es zu Veränderungen der genannten Parameter kommt, geben laut Joiner entweder die in vivo Situation nicht genau wieder oder sie gebrauchten Bleichagentien, die einen besonders niedrigen pH-Wert hatten. Dieser niedrige pH-Wert führt dabei zu erosiven Prozessen mit Säurecharakter, was die beobachteten Veränderungen im Zahnschmelz und Dentin erklären kann (Joiner, 2007).

Eine vollständige Remineralisierung des Zahnschmelzes im Rahmen der Speichелеinwirkung in der Mundhöhle und einer fachgerechten Fluoridierung ist möglich (Attin et al., 1997). Dies verdeutlicht eine Studie von Justino et al., bei der der Bleichvorgang in situ und in vitro durchgeführt und verglichen wurde. Die

remineralisierende Wirkung des Speichels in der Mundhöhle wird hierbei durch die deutlich schlechteren Ergebnisse in vitro als in situ untermauert (Justino et al., 2004). Die Fluoridierung der Zähne nach dem Bleichvorgang führt laut einer Studie von Bizhang et al. zu deutlich weniger Mineralverlust des Zahnschmelzes als keine Fluoridierung (Bizhang et al., 2006).

Fluoridierte Bleichmittel führen zudem zu einer schnelleren Remineralisierung des Zahnschmelzes als nicht fluoridierte Bleichagentien (Attin et al., 2007). Auch Chen et al. kamen zu dem Ergebnis, dass fluoridierte Bleichmittel zu weniger Demineralisierung und zu keiner Veränderung der Oberflächenmorphologie oder Mikrohärtigkeit des Zahnschmelzes führen (Chen et al., 2008).

Das Bleichen von Zähnen mit Restaurationen wie Amalgam- und Kompositfüllungen oder kompositbefestigten Restaurationen ist umstritten.

Beim Bleichen von amalgamgefüllten Zähnen ist zu bedenken, dass die Abgabe von Metallionen verändert werden kann. Das Bleichen mit Karbamid Peroxid führt hierbei zu einer vermehrten Abgabe von Quecksilber- und Zinnionen und je nach Amalgamtyp zu einer vermehrten oder verminderten Abgabe von Kupferionen. Die verminderte Abgabe der Kupferionen tritt jedoch ausschließlich bei dem Dispersalloy auf (Gurgan et al., 2007).

Untersuchungen verdeutlichen, dass der Verbund zwischen Komposit und gebleichtem Zahnschmelz schlechter ist als zu ungebleichtem (Titley et al., 1993).

Shinohara et al. zeigen jedoch, dass nach dem Bleichen von avitalen Zähnen die Komposithaftung zum Dentin reduziert ist, während der Verbund zum Schmelz kaum beeinflusst wird (Shinohara et al., 2001).

Die adhäsive Versorgung eines Zahnes sollte demnach vorsichtshalber ein bis zwei Wochen nach der Bleichtherapie vorgenommen werden.

### **1.3 Ziel der Arbeit**

Ziel der Arbeit ist es zu untersuchen, inwieweit Bleichtechniken zu morphologischen Schmelzveränderungen führen, insbesondere bei laserassistierten Bleichtechniken unter Berücksichtigung von De- und Remineralisierungseffekten. Darüber hinaus soll die

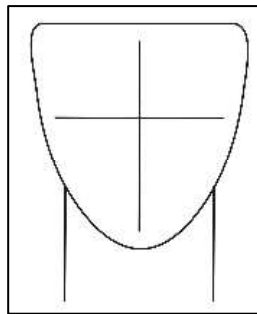
Effektivität des laseraktivierten Bleichens im Vergleich zu konventionellen Verfahren ermittelt werden.

## 2. Material und Methode

### 2.1 Versuchsablaufbeschreibung

Die experimentellen Versuche wurden an dreißig Molaren durchgeführt und in Versuchsprotokollen festgehalten (siehe: Abb. 13, im Anhang). Die Lagerung der Zähne bis zum Versuchsbeginn erfolgte in Sintilationsgefäßen in Natriumchlorid-Lösung (0,9 %) und einem Zusatz von Natriumazid zur aseptischen Lagerung.

Die kariesfreien Oberflächen wurden gereinigt und mit Cleanpolish- und Superpolish-Pasten poliert, anschließend getrocknet. Nach Reinigung der Zahnoberflächen wurde die jeweilige Zahnfarbe bestimmt. Die Zähne wurden nach ihren Zahnfarben drei Gruppen zu je zehn Zähnen zugeordnet (siehe: Tabelle 4, im Anhang). Im planen Bereich der vestibulären Flächen wurden vier Versuchsfelder durch kreuzförmig angeordnete Rillen mit einem Diamantschleifer unter Wasserkühlung abgegrenzt.



**Abb. 2:** Einteilung der Zahnfläche in vier Versuchsfelder, die kreuzförmig voneinander getrennt wurden.

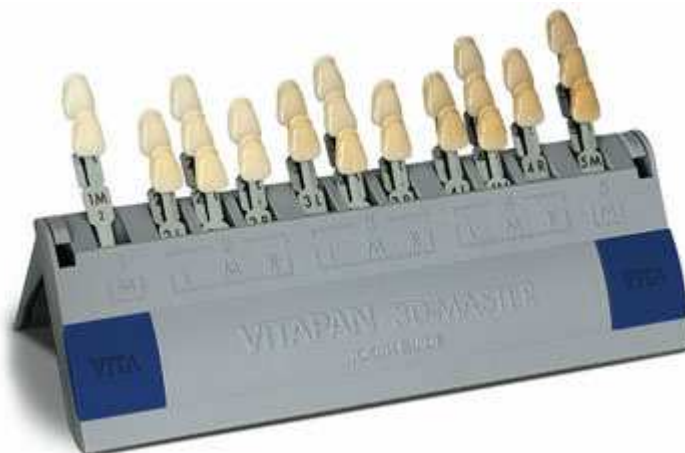
Jeder Zahn wurde nummeriert und die jeweiligen Flächen der vier Versuchsfelder wurden nach erneuter Farbbestimmung den verschiedenen Bleichrezepturen zugeteilt. Besonderheiten der Zähne und der Tag der Extraktion wurden dokumentiert. Ein Test,

anhand dessen der Versuchsverlauf überprüft wurde, wurde ebenfalls in entsprechender Weise vorbehandelt (siehe: Anhang, Tabelle 3 und Abb. 13).

Die Zahnflächen wurden mit dem zu testenden Bleichmittelrezepturen behandelt, abgesprüht und trocken getupft. Da sich die Zahnfarbe durch das Austrocknen der Zähne während des Bleichvorgangs in einen helleren Bereich hin veränderte, wurden die Zähne für 24 Stunden in steril filtriertem Speichel gelagert und anschließend wurde eine erneute Farbbestimmung der einzelnen Zahnflächen vorgenommen (siehe: Anhang, Tabelle 5). Nach dem pH-Cycling wurde die Zahnfarbe erneut bestimmt, wobei diese mit den zuvor bestimmten Werten übereinstimmte. Danach erfolgte die REM- und die polarisationsoptische Untersuchung.

## 2.2 Farbbestimmung-Das Vita® 3D System

Die Zahnfarbe wurde für jeden Zahn mit Hilfe des Vitapan 3D-Master®-Systems bestimmt. Die Zahnoberflächen wurden dazu gereinigt, trocken getupft und im Anschluss daran wurde die Farbe des jeweiligen Zahnes bestimmt. Die Farbbestimmung erfolgte dabei in drei Schritten, die die Farbhelligkeit, die Farbtintensität und den Farbton beinhaltet. Sie erfolgte bei Tageslicht, möglichst zur gleichen Tageszeit, mit einer Armlänge Abstand und auf einem dunklen einheitlichen Hintergrund (Vita Produktinformation).



**Abb. 3:** Der Farbring Vitapan 3D-Master®, System zur Zahnfarbbestimmung in der Übersicht (aus Vident™: How to take a shade; 3D-Master shade Guide).

### Schritt 1: Die Helligkeit

Der Farbring Vitapan 3D-Master® wurde in einer Armlänge Abstand an den zu untersuchenden Zahn gehalten. Der Helligkeitswert wurde aus fünf verschiedenen Helligkeitsgruppen bestimmt. Die Zahnfarbe wurde den mittleren Farbmustern (1M1, 2M1, 3M1, 4M1, 5M1) aus einer der Helligkeitsstufen 1 bis 5 zugeordnet, wobei bei der Auswahl mit der dunkelsten begonnen wurde (Abb. 4).



**Abb. 4:** Zur Bestimmung der Helligkeit der Zähne waren die oberen mittleren Farbmuster einer jeder Helligkeitsgruppe 1-5 von Bedeutung. Bei der Auswahl der Helligkeit tastete man sich von den dunklen Gruppen ausgehend nach hell vorwärts (aus Vident™: How to take a shade; 3D-Master shade Guide).

### Schritt 2: Die Farbintensität

Zur Bestimmung der Farbintensität wurde das mittlere Farbmuster des Farbrings Vitapan 3D-Master® entnommen und aufgeklappt. Alle Farbmuster der M-Gruppe hatten den gleichen Farbton und die gleiche Helligkeit, so dass lediglich die Farbintensität von blass nach satt (1-3) beurteilt werden konnte. Zudem gab es noch 2 Zwischenstufen der Farbintensität, die Stufen 1,5 und 2,5. Diese waren allerdings nicht im mittleren Farbmuster enthalten, sondern nur in Verbindung mit einem rötlicheren oder gelblicheren Farbton.





**Abb. 5:** Zur Bestimmung der Farbintensität wurde das mittlere Farbmuster, der zuvor bestimmten Helligkeitsstufe aus dem Farbring Vitapan 3D-Master<sup>®</sup> entnommen und die passende Intensität der 3 Farbmuster von blass nach satt (1= blass, 2= mittel, 3= satt) dem entsprechenden Zahn zugeordnet (aus Vident<sup>™</sup>: How to take a shade; 3D-Master shade Guide).

### **Schritt 3: Der Farbton**

Stimmte der Farbton des mittleren Farbmusters nicht mit der natürlichen Zahnfarbe überein, konnte er durch einen gelblicheren (L) oder rötlicheren (R) Farbton mit jeweils zwei Intensitätsstufen bestimmt werden (Abb.6) (aus Vitapan 3D-Master<sup>®</sup> Tooth und Color Guide, Produktinformation der Vita Zahnfabrik).



**Abb. 6:** Zur Bestimmung des Farbtons wurde überprüft, ob die Zahnfarbe einem „gelblicheren“ (L) oder „rötlicheren“ (R) Farbton als bei dem bereits ausgewählten „mittleren“ Farbmuster (M) entsprach (aus Vident™: How to take a shade; 3D-Master shade Guide).

### 2.3 Bleichmaßnahmen

Nach der im Kapitel 2.2 beschriebenen Farbbestimmung der einzelnen Zahnflächen wurden diese gebleicht. Hierzu wurden 2 verschiedene Bleichmittel der Firma DeltaMed, Friedberg verwendet: Easywhite® Office und Oxywhite®. Das Easywhite® Office war bei dieser Studie das konventionelle Bleichmittel, das Oxywhite® wurde mit einem Laser aktiviert.

Sowohl das Easywhite® Office als auch das Oxywhite® enthielten 35%iges Wasserstoffperoxid. Sie bestanden aus 2 verschiedenen Komponenten, einem Pulver und einer Flüssigkeit, die durch das Mischen aktiviert wurden.

Zusammensetzung beider Bleichmittel:

Flüssigkeit: Wasserstoffperoxid 35%

Pulver: Siliciumdioxid, Natriumhydroxid, Farbstoff

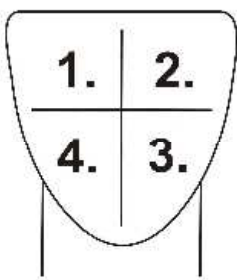
Der Unterschied zwischen den beiden Bleichmitteln bestand darin, dass das Oxywhite® einen blauen Farbstoff enthielt der auf die Wellenlänge des Diodenlasers reagierte, was den Zerfall des Wasserstoffperoxids förderte.

Damit alle Zahnflächen mit der gleichen Bleichmittelkonsistenz behandelt werden konnten, wurden jeweils drei Tropfen der Flüssigkeit des zu testenden Bleichmittels mittels Analysewaage abgewogen und daraus wurde der Mittelwert bestimmt: 67,4 mg. In das zu dem Bleichmittel gehörende Anmischdöschen wurden zuerst 10 mg des Pulvers gefüllt. Dann wurden die vorher abgewogenen 67,4 mg der Bleichflüssigkeit zugetropft bis das Pulver gerade vollständig benetzt war. Mit einem Spatel wurde alles gut durchmischt und konnte danach mit einem Pinsel 1-2mm dick auf die Zahnflächen aufgetragen werden. Von Zeit zu Zeit wurde die Paste neu verstrichen, da durch die Blasenbildung eine Verschlechterung der Benetzung der Zahnoberfläche auftreten konnte (Gebrauchsinformation, DeltaMed, Friedberg, 2004).

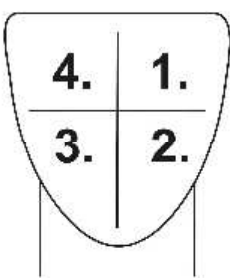
Die Zahnflächen wurden den jeweiligen Behandlungsmaßnahmen zugeteilt:

1. Fläche: unbehandelt
2. Fläche: konventionelles Bleichmittel (Easywhite<sup>®</sup> Office, DeltaMed, Friedberg)
3. Fläche: laseraktiviertes Bleichmittel (Oxywhite<sup>®</sup>, DeltaMed, Friedberg)
4. Fläche: Bleichmittel ohne Laseraktivierung (Oxywhite<sup>®</sup>, DeltaMed, Friedberg)

Zur Vermeidung von Verfahrensfehlern im Sinne von Wiederholungen wurden die zu behandelten Flächen in einem Rotationsverfahren von Präparat zu Präparat gewechselt. Dies bedeutete, dass Präparat Nr. 1 wie folgt eingeteilt wurde:



Präparat Nr. 2 dementsprechend:



und so weiter.

Nach 10 Minuten Einwirkdauer wurde die Paste mit 10 ml Kochsalzlösung abgespült und der Zahn getrocknet.

Das Oxywhite<sup>®</sup> mit Laseraktivierung wurde wie das Easywhite angemischt und auf die zu behandelnde Zahnfläche aufgetragen. Hierbei wurden die nicht zu behandelnden Felder mit einer lichtundurchlässigen Pappe abgedeckt. Zur Aktivierung des Bleichmittels und Beschleunigung des Bleichvorgangs wurde der Vision-Diodenlaser MDL 15 (Vision GmbH, Rodenberg) mittels eines Applikationshandstücks in 1 mm Entfernung auf das Bleichmittel appliziert. Zum Schutz der Augen musste eine spezielle Laserbrille getragen werden.

Der Vision-Diodenlaser MDL-15 verfügte über drei verschiedene Applikationshandstücke und über eine vollautomatische Faserweiche. Das vom Anwender entnommene Titan-Handstück wurde vom Laser erkannt und die entsprechende Faser computergesteuert zugeschaltet. Durch Durchtreten des Fußschalters wurde der Laserstrahl ausgelöst.

Hierzu wurden folgende Betriebsparameter des Vision-Diodenlaser MDL 15 eingestellt:

Leistung: 2 Watt  
Modus: CW  
EM-Zeit: 45 sek.  
Faser: 400µm

Nach dem Bleichvorgang mit den verschiedenen Bleichrezepturen wurden die Zähne 24 Stunden lang in einem Sintilationsgefäß mit steril filtriertem Speichel gelagert.

Danach wurde die Farbe aufgrund der Wasseraufnahme der Zähne erneut bestimmt (siehe: Tabelle 5, im Anhang).

## **2.4 pH-Cycling**

Im Anschluss an den Bleichvorgang wurden die Zahnproben nach dem Verfahren von Featherstone bzw. ten Cate behandelt (Featherstone et al., 1990; ten Cate, Duijesters, 1982; Itthagaran, Wei, 2000).

Die Zähne wurden zunächst in steril filtriertem Speichel für 24 Stunden gelagert. Hierzu wurde so lange auf einem Paraffinklötzchen (CRT Paraffin, Ivoclar Vivadent®) gekaut, was speichelanregend wirkte, bis genügend Speichel für die Studie produziert und gewonnen war. Der Speichel wurde erst unsteril, dann steril gefiltert. Die unsterile Vorfiltration wurde mit dem Filter FP 30 (FP 30/ 1,2 CA, Whatman, Schleicher und Schnell®) mit der Porengröße von 1,2 µm vorgenommen. Im Anschluss daran wurde der Speichel mit dem Celluloseacetatfilter FP 30 (FP 30/ 0,45 CA-S, Schleicher und Schnell®) mit einer Porengröße von 0,45 µm steril gefiltert.

Die Zähne wurden über einen Zeitraum von 10 Tagen 6 Stunden in einem Acetat Puffer (pH-Wert von 4,4) demineralisiert, mit Aqua bidest. abgewaschen und danach 17 Stunden lang in einem Kakodylatpuffer (pH-Wert von 7,4) remineralisiert. Die Einwirkung der verschiedenen pH-Werte auf die Schmelzoberflächen der Zahnproben sollten die im Mund durch Nahrungsaufnahme (Kohlenhydrate) ausgelösten pH-Schwankungen simulieren.

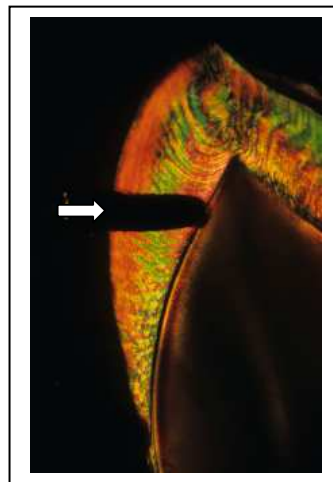
Acetat Puffer: Stammlösung A (0,075 M Natriumacetat, wasserfrei) 100 ml  
Stammlösung B (0,075 M Essigsäure) 200 ml  
0,094 g  $\text{CaCl}_2 \times 2 \text{H}_2\text{O}$  + 0,2432 g  $\text{Na}_3\text{PO}_4$

Kakodylpuffer: 1,070 g Kakodylsäure Natriumsalz-Trihydrat  
0,055 g  $\text{CaCl}_2 \times 2 \text{H}_2\text{O}$   
0,0855 g  $\text{Na}_3\text{PO}_4$   
2,796 g KCl

Jeder Zahn wurde in einer kleinen sterilen Kammer in 2 ml des jeweiligen Puffers für die jeweilige Zeit gelagert. Während der vorgesehenen Einwirkzeit der Lösungen wurden die Kammern mit den Proben in den Wärmeschrank gestellt und dort bei einer konstanten Temperatur entsprechend der Körpertemperatur (37 Grad Celsius) aufbewahrt.

## 2.5 Polarisationsoptische Untersuchung

Mit dem Exakt<sup>®</sup>-Trennschleifsystem aus Norderstedt wurden von allen Versuchsproben Sägeschliffpräparate von ca. 750 µm hergestellt (Koort, Frentzen, 1993), die daraufhin im Durchlichtmikroskop (Dialux 20 EB von Leitz, Wetzlar) untersucht wurden. Die Schnitte wurden auf Objektträgern platziert und im Polarisationsmodus (Polfilter in gekreuzter Stellung) betrachtet.



**Abb. 7:** Dünnschliffpräparat im Polarisationsmodus. Der Einschnitt markiert die Trennung zwischen 2 Versuchsfeldern.

## 2.6 REM-Bestimmung

Bei der rasterelektronischen Untersuchung der Präparate wurden die Zahnoberflächen auf Strukturdefekte wie Einbrüche oder Rissbildungen und eventuelle Freilegung von Schmelzprismen überprüft.

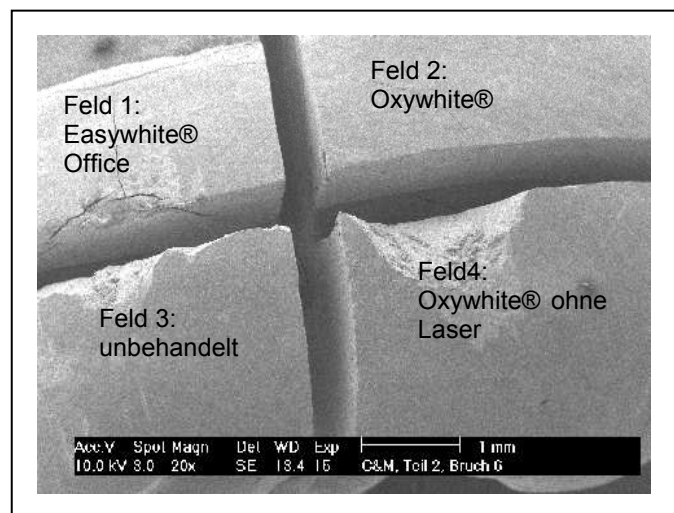
Die Versuchsreihe bestand aus insgesamt 9 Zähnen. Hierzu wurden jeweils drei Zähne einer Farbgruppe, drei aus Farbgruppe 2, drei aus Farbgruppe 3 und drei aus Farbgruppe 4, zufällig ausgewählt.

Als Vorbereitung vor der Rasterelektronenmikroskopie wurden die Zahnproben auf einen Probenhalter (Plano GmbH, Wetzlar, Germany) geklebt und mit einer Platin-Gold-

Legierung für 45 Sekunden unter Vakuum mit dem Scancoat Six (BOC Edwards GmbH, Kirchheim, Germany) besputtert.

Auf der Schmelzoberfläche entstand dadurch eine elektrisch leitfähige Dünnschicht, so dass die Zahnproben im REM dargestellt und untersucht werden konnten. Dies erfolgte unter Hochvakuum mit Hilfe des Rasterelektronenmikroskops XL 30 (Scanning Electron Microscope, Philips Electronics N. V., Eindhoven, The Netherlands).

Zunächst wurde eine Übersichtsaufnahme in 20-facher Vergrößerung von jeder Zahnprobe angefertigt (Abb. 8.).



**Abb. 8:** REM-Übersichtsaufnahme einer Zahnprobe in 20facher Vergrößerung mit den kreuzförmig voneinander getrennten 4 Versuchsfeldern und den vorgesehenen Behandlungsmaßnahmen der jeweiligen Felder.

Zwecks Dokumentation und Auswertung wurden von jedem der 4 Felder einer Probe Einzelaufnahmen von repräsentativen Stellen in folgenden Vergrößerungsstufen angefertigt: 200-fach, 1000-fach, 2000-fach, 4000-fach, 8000-fach und 12000-fach. Die Bewertung der Schmelzoberfläche wurde hierbei bei 1000-facher Vergrößerung vorgenommen. Die Präparate wurden nach den Bewertungskriterien der Rissbildung, Oberflächenporositäten, Detritus und Schlüssellochmusterung entsprechend einer Säureätzung untersucht (siehe: Kapitel 3.3, Abb. 10-12).

## **2.7 Auswertung der Bleicheffekte**

Zur statistischen Auswertung der Variation der Zahnfarbe wurden die Ergebnisse mit dem Chi-Quadrat-Test auf statistisch signifikante Veränderungen überprüft. Hierzu wurde die Zahnfarbe in ihre 3 Parameter Helligkeit, Farbton und Intensität zerlegt und jeder Parameter getrennt ausgewertet (siehe: Tabelle 9 - 17, im Anhang). Bei einem p-Wert kleiner 0,05 wurde von einer signifikanten Veränderung des jeweiligen Untersuchungsparameters ausgegangen (siehe: Kapitel 3.2).



### 3. Ergebnisse

#### 3.1 Aufhellungseffekte

Die Farbbestimmung wurde mit dem Vitapan 3D-Master-System vorgenommen (siehe: Tabelle 5, im Anhang). Zur Auswertung der Aufhellungseffekte wurde die Zahnfarbe, die nach dem pH-Cycling bestimmt wurde, herangezogen.

Bei der Auswertung der Zahnfarbe wurden aus jeder der 3 Farbtongruppen die jeweiligen Flächen miteinander verglichen. Dabei wurden die Flächen in 4 Gruppen aufgeteilt: unbehandelt, behandelt mit Easywhite® und behandelt mit Oxywhite® (Deltamed, Friedberg) mit und ohne Laseraktivierung. Jede der 4 Gruppen wurde für sich miteinander verglichen (siehe: Tabelle 6-8, im Anhang).

Bei der Farbtongruppe 2 kam es bei keiner der 10 unbehandelten Flächen zu einer Farbveränderung.

Anders verhielt es sich bei dem Easywhite® Office der Farbtongruppe 2. Hierbei kam es in 8 der 10 Fälle zu einer Veränderung der Helligkeit und in 2 Fällen blieb sie gleich. Bei genauer Betrachtung der Zahnfarbe konnte bei 7 der 8 Fälle eine Veränderung um eine Farbintensitätsstufe in den helleren Bereich festgestellt werden. In einem der 8 Fälle kam es zu einer deutlichen Änderung der Zahnfarbe von 2R1,5 zu 1M1. Hierbei änderten sich die Helligkeit um eine Stufe heller, die Farbintensität um eine halbe Stufe in Richtung blasser und der Farbton von gelblich zu neutral.

Im Falle des Oxywhite® mit Laseraktivierung konnte in 6 der 10 Fälle eine Veränderung um eine Farbintensitätsstufe in Richtung heller beobachtet werden. Bei einem der 6 Fälle kam es zu einer deutlichen Farbveränderung von 2R1,5 zu 1M1. Dabei handelte es sich ebenfalls um eine Helligkeitsgruppe und eine Farbintensität in den helleren Bereich und eine Veränderung des Farbtons von rötlich nach mittel. 3 der 10 Fälle dieser Gruppe ließen keine Veränderung der Zahnfarbe erkennen.

Bei dem Oxywhite® ohne Laseraktivierung zeigten 7 der 10 Fälle keine Farbveränderung, bei 3 Fällen konnte eine Veränderung jeweils einer Farbintensitätsstufe in den helleren Bereich beobachtet werden.

Die genaue Betrachtung der Farbtongruppe 3 ergab im Falle der 10 unbehandelten Flächen keine Veränderung der Zahnfarbe.

Bei den Flächen die mit Easywhite® Office behandelt wurden, ist in einem Fall keine Veränderung der Zahnfarbe eingetreten, in 9 der 10 Fälle hat eine Farbveränderung stattgefunden. Hierbei ist festzustellen, dass es bei 2 der 10 Fälle zu einer Veränderung um eine Helligkeitsstufe gekommen ist. In 5 Fällen konnte eine Veränderung um jeweils eine Helligkeitsstufe in Richtung heller und einen Farbton beobachtet werden. Hierbei änderten sich der Farbton in 3 Fällen von rötlich nach gelblich, in 1 Fall von mittel zu rötlich und in 1 Fall von rötlich zu mittel.

Weiter ist zu erkennen, dass es bei den mit Oxywhite® mit Laseraktivierung behandelten Flächen in allen Fällen zu einer Veränderung der Zahnfarbe gekommen ist. Hierbei änderten sich in 3 Fällen die Helligkeitsstufe in Richtung heller und in 2 Fällen die Intensität von 2 nach 3 und Helligkeit von 1,5 zu 2,5 um jeweils eine Stufe. Weiter ist zu beobachten, dass sich in 2 Fällen die Helligkeitsstufe von 2 nach 3, der Farbton einmal von neutral zu gelblich und einmal von rötlich zu neutral, die Intensität jeweils um eine halbe Stufe in den helleren Bereich und in weiteren 2 Fällen der Farbton von einmal gelblich nach rötlich und einmal rötlich nach gelblich änderten.

Das Oxywhite® ohne Laseraktivierung erbrachte das Ergebnis, dass in allen Fällen eine Veränderung der Helligkeit um eine Stufe in Richtung heller stattgefunden hat. Bei jedem der 10 Fälle änderte sich hierbei die Helligkeitsgruppe um eine Stufe von 3 nach 2 in Richtung heller. In drei der Fälle blieben der Farbton und die Farbintensität dabei gleich und in einem Fall änderte sich die Farbintensität um eine Stufe in Richtung dunkler von 1,5 nach 2,5. Weiter änderte sich in 2 Fällen der Farbton von R rötlich zu L gelblich, in 2 Fällen von M mittel zu R rötlich und in einem Fall von R rötlich zu M mittel. Die Farbintensität hat sich bei drei der zehn Fälle um eine halbe Stufe in Richtung heller verändert und in 6 Fällen ist keine Veränderung eingetreten.

Bei der Farbtongruppe 4 bleiben alle unbehandelten Flächen unverändert.

Das Easywhite® Office erbrachte das Ergebnis, dass sich in neun der zehn Fälle die Helligkeit um eine Stufe in Richtung heller veränderte und in einem Fall unverändert blieb. In fünf der zehn Fälle blieb die Farbintensität unverändert und in zwei Fällen änderte sie sich um eine Stufe in Richtung heller von jeweils 2,5 nach 1,5. Bei zwei Fällen änderte sich die Farbintensität um eine Stufe in Richtung dunkler von 1,2 nach 2,5 und in einem weiteren um eine halbe Stufe von 2 nach 2,5 in Richtung dunkler. Der

Farbton änderte sich nur bei einem der zehn Fälle von M mittel zu R rötlich, bei den restlichen neun Fällen blieb der Farbton gleich.

Das Bleichen mit dem Oxywhite® mit Laseraktivierung hat bei jeder der 10 Zahnproben eine Veränderung der Helligkeit um eine Stufe in Richtung heller hervorgerufen. In acht Fällen blieb der Farbton gleich, in zwei Fällen änderte er sich von R rötlich zu L gelblich und von L gelblich zu M mittel. Die Farbintensität änderte sich in sieben Fällen nicht. In zwei Fällen kam es zu einer Änderung der Farbintensität um eine Stufe in Richtung dunkler von 1,5 nach 2,5 und in einem Fall um eine halbe Stufe von 1,5 nach 1.

Das Oxywhite® ohne Laseraktivierung hat in neun der zehn Fälle eine Veränderung der Helligkeit um eine Stufe in Richtung heller hervorgerufen. In einem Fall blieb die Helligkeit von 3 unverändert. In sechs Fällen veränderte sich der Farbton nicht, in einem Fall änderte er sich von L gelblich zu R rötlich. In zwei Fällen kam es zu einer Veränderung von R rötlich zu L gelblich und in einem weiteren von L gelblich zu M mittel. Die Farbintensität blieb in sieben Fällen unverändert, in drei veränderte sie sich. Hierbei kam es in einem Fall zu einer Veränderung um eine Stufe von 2,5 zu 1,5 in Richtung heller, in einem weiteren Fall um eine halbe Stufe von 1,5 zu 1 und in einem Fall änderte sich die Intensität um eine Stufe in Richtung dunkler von 1,5 zu 2,5.

Weiter ist der Tabelle zu entnehmen, dass meist die Zahnfarbe der Helligkeitsgruppe 2 auch nach dem Bleichvorgang unverändert blieb, die Zahnfarbe der Gruppen 3 und 4 sich jedoch änderte. Demnach ist der Aufhellungseffekt bei von Natur aus hellen Zähnen nach dem einmaligem Bleichen mit genannten Präparaten nicht so groß wie der von dunkleren Zähnen.

Schlussfolgernd ist diesem Versuch zu entnehmen, dass die Aufhellungseffektivitäten beider Bleichmittel nahezu gleich sind und von der Ausgangsfarbe der Zähne abhängen.

### **3.2 Statistische Auswertung mit dem Chi-Quadrat-Test**

Statistisch signifikante Unterschiede entsprechend dem Chi-Quadrat-Test ergaben sich bei den Flächen 2 und 3 der Gruppe 1 im Bereich der Intensität, den Flächen 2 bis 4 im Bereich der Helligkeit der Gruppe 2 und den Flächen 3 und 4 im Bereich der Helligkeit der Gruppe 3 (siehe: Tabelle 9-17, im Anhang).

Hierbei wurde bei einem p-Wert unter 0,05 eine statistisch signifikante Veränderung der Zahnfarbe angenommen.

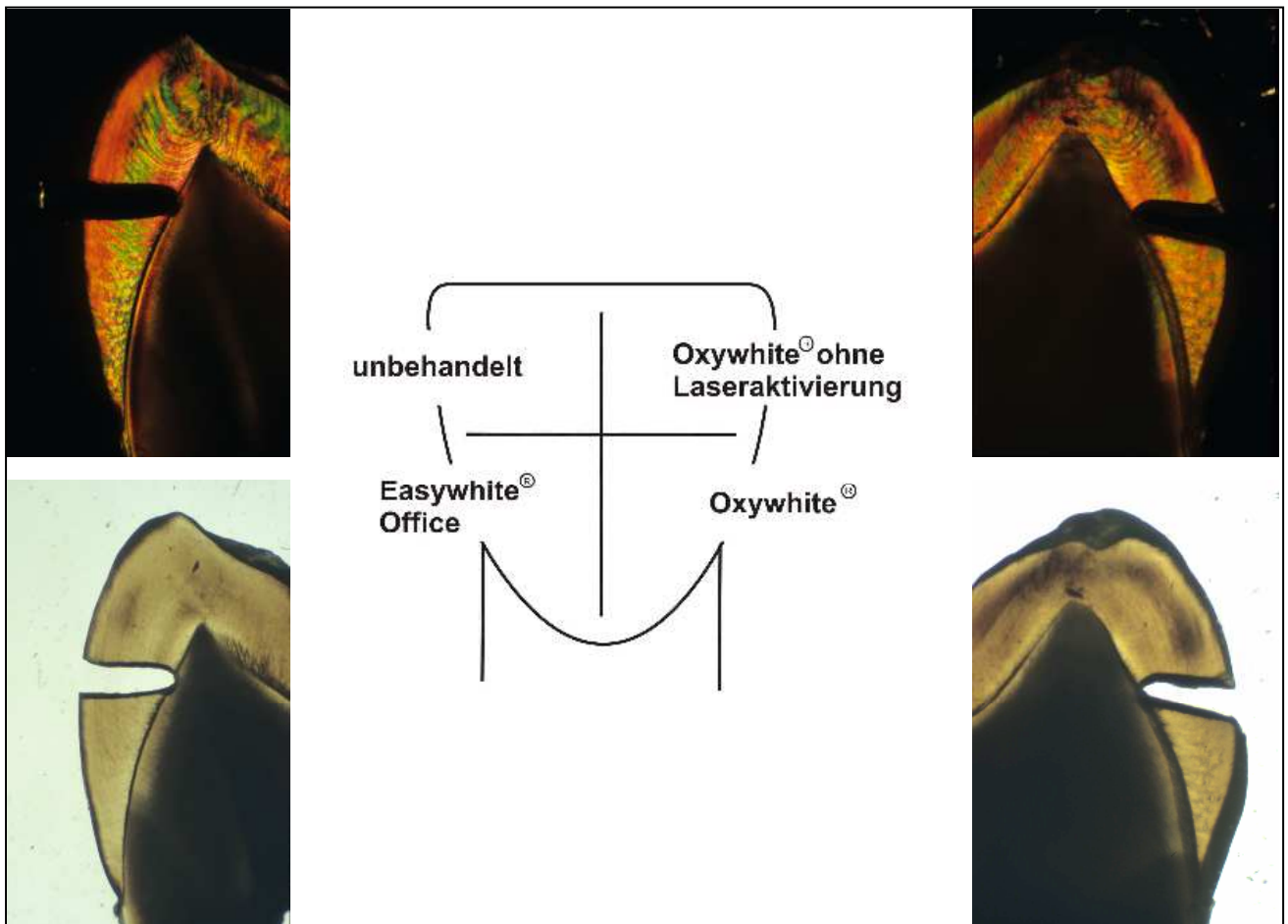
### **3.3 Polarisationsoptische Ergebnisse**

Im polarisationsmikroskopischen Bild lassen sich eine Reihe histologischer Charakteristika beschreiben:

Die Hunter-Schreger-Faserstreifung ist im Längsschnitt in den inneren zwei Dritteln des Zahnschmelzes sichtbar. Von koronal nach zervikal können abwechselnd dunkle und helle Streifen unterschieden werden. Aufgrund des wellenförmigen Verlaufs der Schmelzprismen sowohl in horizontaler als auch in vertikaler Richtung, werden die Streifen im Schnitt an einigen Stellen quer, an anderen längs zur Verlaufsrichtung getroffen. Dadurch entsteht im polarisationsmikroskopischen Bild die typische Streifung. Auch die Perikymatien sind im Längsschnitt sichtbar. Dabei handelt es sich um Vertiefungen in Form von Linien an der Zahnoberfläche, die von zervikal nach koronal abnehmen. Bei trockenen jugendlichen Zähnen sind sie gut, bei älteren Zähnen aufgrund der Attrition nicht mehr sichtbar. Problematisch sind Perikymatien im Bereich der Approximalkontakte, da sie dort schlecht gereinigt werden können und das Risiko der Kariesentstehung dadurch erhöht wird.

Die Retzius-Streifen enden auf der Schmelzoberfläche in den Perikymatien. Sie stehen halbkreisförmig auf dem Dentinkern und entstehen durch die Ruhephasen der Ameloblasten während der Schmelzbildung. Meist sind sie hypomineralisierte Bereiche (Hellwig et al., 2003).

Bei der Untersuchung der Zahnoberfläche aller 30 Präparate nach dem Bleichen sind keine Anzeichen im Bezug auf morphologische Veränderungen am Zahnschmelz, abweichend von den typischen oben genannten Charakteristika, festzustellen. Dies kann durch die nachfolgende Abbildung verdeutlicht werden, die das Präparat 25 im Polarisationsmikroskop darstellt. Diese Abbildung ist beispielhaft für alle untersuchten Präparate, bei denen das gleiche Ergebnis vorliegt.

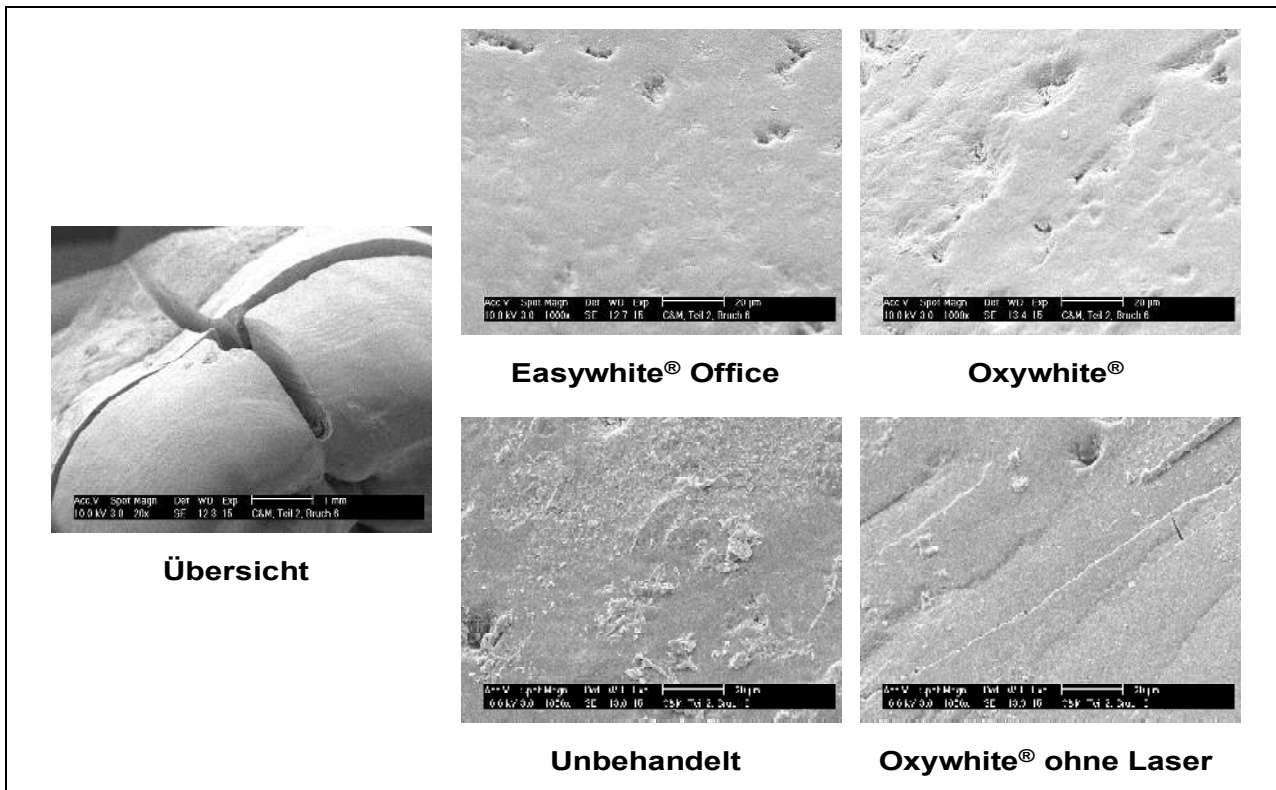


**Abb. 9:** Polarisationsoptische Aufnahmen der Zahnoberfläche des Präparats 25 und dessen Einteilung in 4 Felder mit der jeweiliger Behandlung. Unterschiede zwischen den verschiedenen Behandlungsmaßnahmen liegen nicht vor.

### 3.4 REM-Ergebnisse

Bei der Untersuchung der Oberflächentextur wurden die 4 Felder einer Zahnprobe intraindividuell verglichen. Zu erkennen waren hierbei natürliche Oberflächeneffekte wie Schmelzprismen oder Erhabenheiten, aber auch unnatürliche Rissbildungen, die im Zuge der Trocknung des Zahnes zustande gekommen sind. Besonderes Augenmerk wurde hier auf Veränderungen gelegt, die im Zuge des Bleichvorganges auftreten können, wie Demineralisationseffekte in Form von freigelegten Schmelzprismen oder

Oberflächenporositäten abweichend von den natürlichen Oberflächeneffekten. Beispielhaft ist hierbei aus jeder Farbtongruppe eine Zahnprobe aufgeführt.

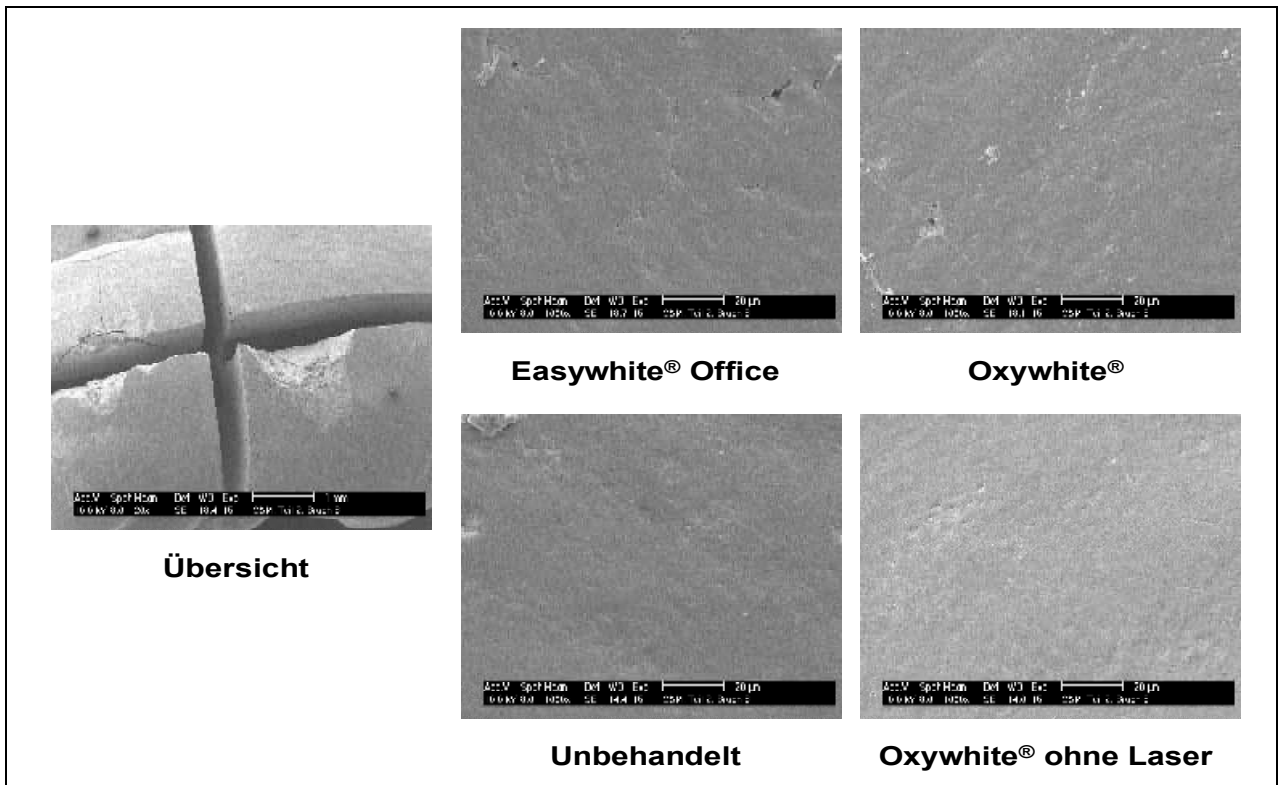


**Abb. 10:** REM-Darstellung des Präparates 26 der Gruppe 1 bei 1000facher Vergrößerung der Übersichtsaufnahme mit der Einteilung in 4 Versuchsfelder und der einzelnen Felder mit deren jeweiligen Behandlungsmaßnahmen. Zu erkennen sind generalisierte Wellenbildungen und vereinzelte Schmelzsporen.

Die Übersichtsaufnahme der Abbildung 10 zeigt eine deutliche Wellenbildung des Zahnschmelzes. Im intraindividuellen Vergleich der 4 Felder setzt sich diese generalisierte Wellenbildung innerhalb des Zahnschmelzes fort. Weiter sind vereinzelte Schmelzsporen auf jedem der 4 Felder zu erkennen.

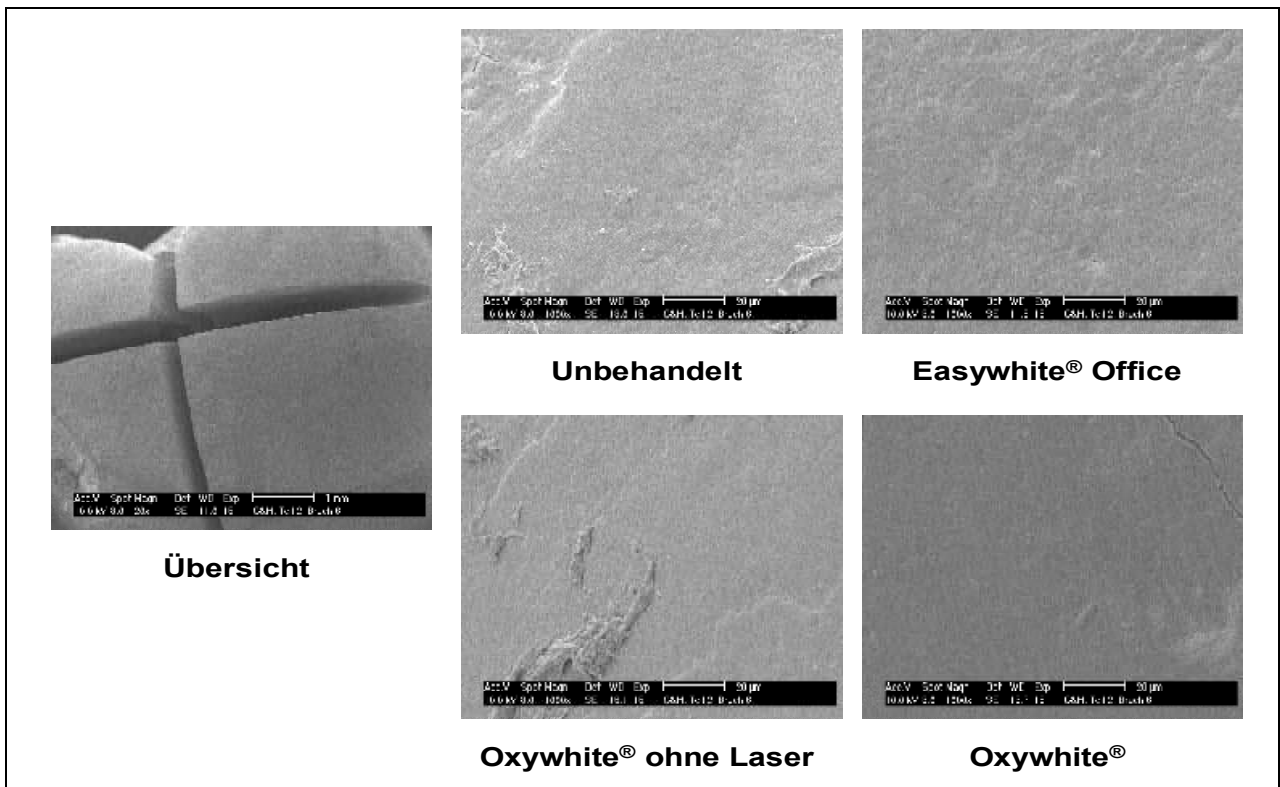
Bei der genauen Betrachtung der nachfolgenden Übersichtsaufnahme der Abbildung 11 ist eine Rissbildung sowie Absprengung der Zahnschmelzsubstanz bedingt durch die Fräsung des Kreuzes auf der Oberfläche des Zahnes zu erkennen. Bei dem Vergleich der einzelnen Felder der Zahnprobe kann auf jedem der 4 Felder eine gleichmäßige

Oberflächenmusterung beobachtet werden. Auch hier sind vereinzelte Schmelzporen zu erkennen.



**Abb. 11:** REM-Darstellung des Präparates 29 der Gruppe 2 bei 1000facher Vergrößerung der Übersichtsaufnahme mit der Einteilung in 4 Versuchsfelder und der einzelnen Felder mit deren jeweiligen Behandlungsmaßnahmen. Zu erkennen sind Absprengungen des Zahnschmelzes mit einer Rissbildung und eine gleichmäßige Oberflächenmusterung mit vereinzelten Schmelzporen.

In der nachfolgenden Abbildung 12 ist eine glatte Zahnoberfläche mit vereinzelten Erhabenheiten auf dem Zahnschmelz zu erkennen. Auch dies kann in jedem der 4 Felder der Zahnprobe beobachtet werden.



**Abb. 12:** REM-Darstellung des Präparates 28 der Gruppe 3 bei 1000facher Vergrößerung der Übersichtsaufnahme mit der Einteilung in 4 Versuchsfelder und der einzelnen Felder mit deren jeweiligen Behandlungsmaßnahmen. Zu erkennen ist eine glatte Zahnoberfläche mit einzelnen Erhabenheiten.

Die rasterelektronenmikroskopische Untersuchung aller untersuchten Zahnpräparate zeigt deutlich, dass im Vergleich bei keinem der vier Felder eines jeden Zahnes durch das Bleichen bedingte Veränderungen im Bereich des Zahnschmelzes nachzuweisen sind.

Schlussfolgernd lässt sich feststellen, dass weder das konventionelle Bleichmittel Easywhite® Office noch das Oxywhite® mit oder ohne Laseraktivierung, verglichen mit der unbehandelten Zahnoberfläche, Oberflächenveränderungen des Zahnschmelzes hervorruft.



## **4. Diskussion**

### **4.1 Methodenkritik**

In der vorliegenden Studie wurden menschliche extrahierte Zähne verwendet, deren Extraktionstag bekannt war. Ungeeignete Zähne wie Inzisivi, Prämolaren und Eckzähne wurden aussortiert. Aufgrund der Flächenbeschaffenheit kamen ausschließlich Molaren mit nahezu geraden Flächen zum Einsatz. Da gewölbte Flächen durch die Biegung das Licht anders reflektieren als gerade Flächen, könnten gewölbte Flächen in dieser Studie das Ergebnis der Farbbestimmung verfälschen. Zudem sind gewölbte Flächen aus technischen Gründen nicht so geeignet wie gerade Flächen, da das Bleichmittel durch die Wölbung verlaufen könnte, was wiederum zu einer Ergebnisverfälschung führen würde.

Direkt nach der Extraktion wurden die Zähne in einem Sintergefäß mit Natriumchlorid-Spüllösung 0,9% und Natriumazid-Zusatz aufbewahrt. Hierbei bestand zu keiner Zeit die Gefahr des Austrocknens und der Rissbildung der Zahnoberflächen, was zu einer Ergebnisverfälschung hätte führen können.

Die Untersuchung der Zahnoberfläche erfolgte mit dem Rasterelektronen- und dem polarisationsoptischen Mikroskop.

Das Bleichverfahren erfolgte nach Herstellerangaben mit genau abgewogenem Flüssigkeits- und Pulververhältnis (siehe: Material und Methode: 67,4 mg Flüssigkeit auf 10 mg Pulver).

Die Zahnfarbe wurde mit dem Vitapan 3D-Master System visuell bestimmt. Das Vitapan 3D-Master System ist systematisch aufgebaut und berücksichtigt die drei Dimensionen Farbhelligkeit, Farbintensität und Farbton des Farbeindrucks (aus Vitapan 3D-Master® tooth und color Guide, Produktinformation der Vita Zahnfabrik).

Da die visuelle Bestimmung der Zahnfarbe von dem Beurteilungsvermögen des Betrachters abhängt, ist dieses Verfahren mit subjektiven Einflussmöglichkeiten behaftet. Beachtet wurde zwar die jeweils gleiche Tageszeit und Lichteinstrahlung des Tages bei der Farbbestimmung, jedoch war nicht an allen Tagen das Wetter gleich und somit auch der Lichteinfall auf den Zahn unterschiedlich stark. Dieses kann in

subjektiver Weise die Beurteilung der Zahnfarbe beeinflussen und das Ergebnis verfälschen.

## **4.2 Klinische Relevanz**

Die Meinung, das Bleichen von Zähnen zerstöre die Zahnoberfläche, ist bei Patienten weit verbreitet. Deshalb wird im Rahmen dieser Studie die Zahnoberfläche nach dem Bleichvorgang untersucht. Nach Untersuchungen im Rasterelektronenmikroskop und dem polarisationsoptischen Mikroskop greift keines der beiden eingesetzten Bleichsysteme die Zahnoberfläche an.

Diese These ist in der Literatur sehr umstritten (siehe: Kapitel 1.2.4.1.3 Ultrastrukturelle Veränderungen in den Zahnhartgeweben). Gegensätzliche Untersuchungen behaupten beispielsweise, je neutraler der pH-Wert, desto glatter die Oberfläche (Mc Guckin et al., 1992) oder belegen, hochkonzentrierte Carbamidperoxide (35%ig) führen zu strukturellen Alterationen des Schmelzes (Oltu, Gürkan, 2000). Andere Studien führen zu dem Ergebnis, dass das Bleichen mit hochkonzentrierten Bleichmitteln zu keinen Veränderungen im Zahnschmelz führt (Jiang et al., 2008, Park et al., 2004, Yurdukoru et al., 2003). Die Gründe für die unterschiedlichen Aussagen der verschiedenen Studien können nicht plausibel nachvollzogen und generalisiert werden. Der pH-Wert des Produktes scheint jedoch von großer Bedeutung zu sein (Willershausen et al., 2007). Daher sollten für alle klinisch verfügbaren Produkte entsprechende Untersuchungsergebnisse vorliegen.

Immer mehr Patienten haben den Wunsch nach makellos weißen Zähnen. Eine Untersuchung von Kershaw et al., 2008 unterstreicht die Bedeutung weißer Zähne in unserer Gesellschaft, da helle Zähne, unabhängig von der jeweiligen sozialen Schicht der Person, zu einer positiveren Einschätzung des Menschen in der Gesellschaft führen. Dabei spielt die Ausgangsfarbe der Zähne für den Patienten oftmals eine geringfügige Rolle. Nach dem Bleichen von Natur aus hellen Zähnen, erscheinen die Zähne meist unnatürlich weiß, transparent und überbleicht. Dies können die Patienten vorher nicht absehen und Enttäuschungen sind vorprogrammiert. Den Ergebnissen dieser Studie ist zu entnehmen, dass der Bleicheffekt bei von Natur aus hellen Zähnen nach einmalig erfolgter Therapie nicht so groß ist wie der bei dunkler erscheinenden Zähnen.

Demnach müsste bei hellerer Ausgangsfarbe eine mehrmalige Bleichtherapie erfolgen. Ob dies das Ergebnis verbessert bleibt fraglich und steigert das Risiko von Nebenwirkungen (siehe: Kapitel 1.2.5 Nebeneffekte des Bleichens).

Der Lasereinsatz ist heutzutage ein Routineverfahren bei vielen therapeutischen Eingriffen in der Mundhöhle.

Bei dem in dieser Studie eingesetzten Bleichmittel Oxywhite<sup>®</sup> mit Lasereinsatz ist im Bezug auf die Aufhellungseffektivität kein Unterschied zu dem konventionellen Bleichmittel Easywhite<sup>®</sup> Office festzustellen.

Im Vergleich zu dem konventionellen Bleichmittel ist das Oxywhite<sup>®</sup> mit Lasereinsatz im Bezug auf die Aufhellungseffektivität und die Beeinflussung der Schmelzstruktur weder als besser noch als schlechter zu bewerten. Zu hinterfragen ist hier demnach der Sinn des Einsatzes des laseraktivierten Bleichmittels Oxywhite<sup>®</sup>.

Andere Studien behaupten wiederum die Wirksamkeit energieinduzierter Bleichsysteme. Beispielhaft hierfür ist die Photo-Elektronen-Reaktion, bei der das im Gel enthaltene Eisen-Ion einen schnelleren Zerfall des Wasserstoffperoxids bewirkt. Der Lichteinsatz hierbei sorgt für die ständige Regeneration der Eisen-Ionen und hält den schnellen Zerfall des Wasserstoffperoxids aufrecht. Diese Bleichmethode wird von den Autoren als hocheffizient angesehen (Torrades et al., 2003, Southworth, Voelker 2003, Bali et al. 2004, Tokumura et al. 2006). Auch wird eine bleichende Wirkung von UV-A-Licht beschrieben (Kolbeck et al., 2006). Das Bleichen von Zähnen mit einem durch eine Halogenlampe aktivierten Bleichmittel ist laut einer Studie von Lima et al. (2009) im Vergleich mit einem konventionellen, nicht aktivierten Bleichmittel effektiver. Der Vergleich des Bleichens von Zähnen mit einem laseraktivierten Bleichmittel und einem durch eine Halogenlampe aktivierten Bleichmittel ergibt keinen Unterschied bei der Effektivität des Bleichens (Gontijo et al., 2008). In Bezug auf die Änderung der Zahnfarbe ist ebenfalls kein Unterschied zwischen den verschiedenen Aktivierungsvorgängen zu erkennen. Der Laser birgt jedoch den Vorteil, dass er im Vergleich mit der Halogenlampe eine wesentlich geringere Temperaturentwicklung im Inneren des Zahnes hervorruft (Gontijo et al., 2008). Das Ergebnis dieser Studie wird durch eine Untersuchung von Marson et al., 2008 bekräftigt, bei der die Bleicheffektivität und die Farbstabilität bei dem Bleichen mit hochprozentigem Hydrogen Peroxid mit oder ohne Lichtquelle identisch ist.

### 4.3 Konklusio

Die Versuche haben ergeben, dass der Bleichvorgang mit dem laseraktivierten Oxywhite® zu keinerlei Vorteilen gegenüber den herkömmlichen Bleichverfahren führt. Dagegen steht der Nachteil der Kostenintensivität für den Zahnarzt bei der Anschaffung des Lasers. Für den Patienten ergibt sich daraus ein höherer Preis für ein laseraktiviertes Bleichen seiner Zähne. Ergo ist der Lasereinsatz in Verbindung mit dem Bleichmittel Oxywhite® nicht zu empfehlen.

Es wäre unangemessen, den Patienten aus reinen verkaufsstrategischen Gründen vom Lasereinsatz dieses Bleichmittels überzeugen zu wollen.

Des Weiteren ist die Indikation für das Bleichen von Natur aus hellen Zähnen aus oben genannten Gründen genauestens zu überprüfen und kritisch zu überdenken.

Die Sorge einer veränderten Zahnoberfläche nach dem Aufhellen ist unberechtigt und es besteht bei fachgerechter Handhabung der Bleichmittel während des Bleichvorganges und adäquater Nachsorge der gebleichten Zähne aus dieser Sicht kein Grund für den Ausschluss einer Zahnaufhellung.

## 5. Zusammenfassung

Ziel dieser In-vitro-Untersuchung war es zu untersuchen, ob es möglicherweise nach dem Bleichen mit einem laseraktivierten Bleichmittel zu Veränderungen der Schmelzstruktur kommt. Weiter sollte durch die Bestimmung der Zahnfarbe nach der Behandlung der Zähne festgestellt werden, ob die verwendeten Bleichmittelrezepturen eine unterschiedliche Effizienz haben.

Hierzu wurden 30 extrahierte Zähne in drei Gruppen zu je 10 Zähnen aufgeteilt und jeder Gruppe eine spezielle Helligkeitsstufe zugeordnet. Die jeweilige Farbe wurde mit dem Vitapan 3D-Master-System bestimmt, welches fünf Helligkeitsgruppen beinhaltet. In dieser Studie handelte es sich um die Helligkeitsgruppen 2, 3 und 4. Im planen Bereich der vestibulären Zahnfläche wurden vier Versuchsfelder kreuzförmig abgegrenzt. Drei Felder wurden mit jeweils unterschiedlichen Bleichmethoden behandelt, das vierte Feld blieb unbehandelt. Die Zähne wurden 24 Stunden in einem Sintilationsgefäß mit Natriumchlorid-Lösung (0,9 %) und Natriumazid-Zusatz gelagert. Die Zahnfarbe wurde direkt nach der Lagerung in Flüssigkeit bestimmt.

Nach der Wiederbefeuchtung der Zähne wurde bei der Farbbestimmung eine Aufhellung der Zahnfarbe um jeweils eine Farbstufe bei den Helligkeitsgruppen 3 und 4 festgestellt, während bei den von Natur aus helleren Zähnen der Helligkeitsgruppe 2 nach einem einmaligen Bleichvorgang kein Unterschied zum Originalfarbton festzustellen war. Der Vergleich der Aufhellungseffektivität zwischen dem konventionellen Bleichmittel und dem laseraktivierten ergab bei keiner Helligkeitsgruppe einen Unterschied.

Zur Nachahmung des physiologischen Gleichgewichts zwischen De- und Remineralisierung des Zahnschmelzes in der Mundhöhle wurden die Zähne für 24 Stunden in steril filtriertem Speichel gelagert und in verschiedenen Puffern de- bzw. remineralisiert.

Im Anschluss daran erfolgte die Untersuchung der Zahnoberflächen im Rasterelektronenmikroskop und im polarisationsoptischen Mikroskop. Beide Untersuchungen führten zu dem Ergebnis, dass die Schmelzoberfläche bei keinem der verwendeten Bleichmittel im Vergleich zu der unbehandelten Zahnoberfläche morphologisch verändert wurde. Die Laseraktivierung des Bleichmittels scheint keinen Einfluss auf morphologische Aspekte wie auch auf die Bleicheffektivität zu haben.

## 6. Anhang

### 6.1 Tabellenanhang

Nr.	Zahn	Fläche	Besonderheiten	Tag der Extraktion
1	Molar	v		28.07.2005
2	Molar	v		29.07.2005
3	Molar	m		01.08.2005
4	Molar	v		03.08.2005
5	Molar	m		03.08.2005
6	Molar	v		08.08.2005
7	Molar	o		14.08.2005
8	Molar	v		18.08.2005
9	Molar	v	pf (GIZ) od	22.08.2005
10	Molar	v	pf (GIZ) mo	22.08.2005
11	Molar	v		24.08.2005
12	Molar	v		25.08.2005
13	Molar	o	af o, d, m	01.09.2005
14	Molar	d		01.09.2005
15	Molar	m	c v	02.09.2005
16	Molar	m	pf (GIZ) o	05.09.2005
17	Molar	o		05.09.2005
18	Molar	m		06.09.2005
19	Molar	o		08.09.2005
20	Molar	o		12.09.2005
21	Molar	o		12.09.2005
22	Molar	v		13.03.2005
23	Molar	m		13.09.2005
24	Molar	o		14.09.2005
25	Molar	o		16.09.2005
26	Molar	m		19.09.2005
27	Molar	o		19.09.2005
28	Molar	v	pf (GIZ) o	20.09.2005
29	Molar	m		22.09.2005
30	Molar	v		22.09.2005
Probe	Molar	m		22.02.2005

**Tabelle 3:** Tabellarische Darstellung mit Kodierung, Identifizierung und Zuordnung der Zähne für die Studie. pf= provisorische Füllung; GIZ= Glasionomierzement; od= okklusal-distal; mo= mesio-okklusal; af= Amalgamfüllung; o= okklusal; d= distal; m= mesial; c= Karies; v= vestibulär.

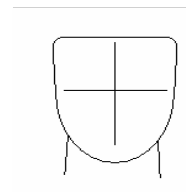
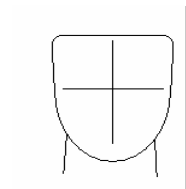
Gruppe 1		Gruppe 2		Gruppe 3	
Helligkeits- gruppe	Zahn	Helligkeits- gruppe	Zahn	Helligkeits- gruppe	Zahn
2	4	3	5	4	1
2	11	3	6	4	2
2	13	3	9	4	3
2	14	3	10	4	7
2	17	3	16	4	8
2	18	3	19	4	12
2	23	3	22	4	15
2	26	3	24	4	20
2	27	3	25	4	21
2	30	3	29	4	28

**Tabelle 4:** Zuordnung der Zähne zur jeweiligen Helligkeitsgruppe. Gruppe1-3= 3 Studiengruppen aus 10 Zahnpräparaten; Helligkeitsgruppe 2-4= Helligkeit der Zahnpräparate; Zahn= Zahnpräparate.

## Versuchsprotokoll

Zahnnummer:                      Tag der Extraktion:                      Zahn:                      Datum:

1.     Austausch Medium:
2.     Reinigung und Politur der Zahnoberfläche:  
v     o     m     d
3.     Trocknung der Zahnoberfläche mittels Tupfer:
4.     Bestimmung der Zahnfarbe (Vita 3D):
5.     Markierung der Arbeitsfelder (diamantierte Trennscheibe):
6.     Bestimmung der Arbeitsfelder:  
- Fläche 1: unbehandelt  
- Fläche 2: Easywhite<sup>®</sup> Office  
- Fläche 3: Oxywhite<sup>®</sup>  
- Fläche 4: Oxywhite<sup>®</sup> ohne Laseraktivierung
7.     Bestimmung der Zahnfarbe (Vitapan 3D - Master System):
8.     Applikation des Bleichmittels im Bereich der Arbeitsfelder:
9.     Abspülen des Bleichmittels (10 ml Kochsalzlösung):
10.    Trocknung der Zahnoberfläche mittels Tupfer:
11.    Lagerung der Zahnpräparate in steril filtriertem Speichel (1 Tag):
12.    Bestimmung der Zahnfarbe (Vita 3D):
13.    REM:
14.    pH - Cycling/ Histologie:
15.    Bestimmung der Zahnfarbe (Vita 3D):



**Abb. 13:** Das Versuchsprotokoll wurde für jedes der 30 Zahnpräparate der Studie ausgefüllt. v=vestibulär; o=okklusal; m=mesial; d=distal.



Zahnprobe	Fläche 1		Fläche 2		Fläche 3		Fläche 4	
	unbehandelt		Easy-white Office®		Oxy-white®		Oxy-white® ohne Laser	
	vorher	nachher	vorher	nachher	vorher	nachher	vorher	nachher
1	4 L 1,5	4 L 1,5	4 L 1,5	3 L 1,5	3 L 1,5	2 L 1,5	3 L 1,5	2 L 1,5
2	4 L 2,5	4 L 2,5	4 L 1,5	3 L 2,5	4 L 1,5	3 L 2,5	3 L 2,5	2 R 1,5
3	4 R 2,5	4 R 2,5	4 L 1,5	3 L 2,5	4 R 1,5	3 R 1,5	4 R 1,5	3 L 1,5
4	2 L 1,5	2 L 1,5	2 R 1,5	1 M 1	2 R 1,5	1 M 1	2 L 1,5	2 L 1,5
5	3 R 1,5	3 R 1,5	3 R 1,5	2 L 1,5	3 L 2,5	2 L 2,5	3 L 2,5	2 L 2,5
6	3 R 1,5	3 R 1,5	3 R 1,5	2 R 1,5	3 R 1,5	2 R 1,5	3 R 1,5	2 M 1
7	4 L 2,5	4 L 2,5	3 L 2,5	3 L 1,5	4 L 1,5	3 M 1	4 L 1,5	3 M 1
8	4 R 1,5	4 R 1,5	3 R 2,5	2 R 1,5	4 R 1,5	3 R 1,5	4 R 1,5	3 L 2,5
9	3 M 1	3 M 1	3 M 1	2 R 1,5	3 L 1,5	2 L 2,5	3 L 1,5	2 L 2,5
10	3 M 2	3 M 2	3 L 1,5	3 L 1,5	3 L 1,5	2 L 2,5	3 M 2	2 R 1,5
11	2 L 2,5	2 L 2,5	2 L 2,5	2 L 1,5	2 L 2,5	2 L 1,5	2 L 2,5	2 L 1,5
12	4 L 2,5	4 L 2,5	4 L 1,5	3 L 1,5	4 L 1,5	3 L 1,5	3 L 2,5	2 L 2,5
13	2 L 2,5	2 L 2,5	2 L 2,5	2 L 1,5	2 L 2,5	2 L 1,5	2 L 2,5	2 L 1,5
14	2 R 2,5	2 R 2,5	2 L 2,5	2 L 1,5	2 L 2,5	2 L 1,5	2 R 2,5	2 R 1,5
15	4 L 2,5	4 L 2,5	4 R 1,5	3 R 1,5	4 R 1,5	3 L 2,5	3 L 2,5	3 L 2,5
16	3 L 2,5	3 L 2,5	3 L 2,5	2 L 2,5	3 L 1,5	2 R 1,5	3 L 1,5	2 R 1,5
17	2 L 1,5	2 L 1,5	2 L 1,5	2 L 1,5	2 L 2,5	2 L 2,5	2 L 2,5	2 L 2,5
18	2 R 1,5	2 R 1,5	2 R 2,5	2 R 1,5	2 R 2,5	2 R 1,5	2 R 1,5	2 R 1,5
19	3 R 2,5	3 R 2,5	3 R 2,5	2 R 1,5	3 R 2,5	2 R 1,5	3 L 2,5	2 L 2,5
20	4 M 2	4 M 2	4 M 2	3 R 2,5	3 L 2,5	2 L 2,5	3 L 2,5	2 L 2,5
21	4 R 1,5	4 R 1,5	3 L 2,5	2 L 2,5	3 L 2,5	2 L 2,5	4 R 1,5	3 R 1,5
22	3 L 1,5	3 L 1,5	3 L 1,5	2 M 1	3 L 1,5	2 L 1,5	3 L 1,5	2 L 1,5
23	2 L 2,5	2 L 2,5	2 L 2,5	2 L 1,5	2 L 1,5	2 L 1,5	2 L 1,5	2 L 1,5
24	3 M 2	3 M 2	3 M 2	2 R 2,5	3 M 2	2 R 2,5	3 M 2	2 R 1,5
25	3 R 1,5	3 R 1,5	3 R 1,5	2 L 1,5	3 R 1,5	2 L 1,5	3 R 1,5	2 L 1,5
26	2 L 2,5	2 L 2,5	2 R 2,5	2 R 1,5	2 R 2,5	2 R 1,5	2 L 2,5	2 L 2,5
27	2 R 1,5	2 R 1,5	2 R 1,5	2 R 1,5	2 L 2,5	2 L 2,5	2 L 2,5	2 L 2,5
28	4 R 1,5	4 R 1,5	4 R 1,5	3 R 1,5	4 R 1,5	3 R 1,5	4 R 1,5	3 R 1,5
29	3 R 1,5	3 R 1,5	3 R 1,5	2 L 1,5	3 R 1,5	2 L 1,5	3 R 1,5	2 L 1,5
30	2 R 1,5	2 R 1,5	2 R 2,5	2 L 1,5	2 R 2,5	2 L 1,5	3 R 1,5	2 R 1,5
P	3 R 1,5	3 R 1,5	3 R 1,5	2 R 1,5	2 R 2,5	2 R 2,5	2 R 2,5	2 R 2,5

**Tabelle 5:** Bestimmung der Zahnfarbe vor und nach dem Bleichen. Zahnproben 1-30 mit einer Versuchsprobe zur Versuchskontrolle; Flächen 1-4 mit der jeweiligen Behandlung; Zahnfarbe vorher und nachher bezogen auf das Bleichen; 2 R 1,5 (beispielhaft für alle Zahnfarben) 2= Helligkeit, R= Farbton: R= rötlich, M= mittel, L= gelblich, 1,5= Farbintensität 1-3 mit Zwischenstufen; P= Versuchsprobe.

Zahn	Gruppe 1, Helligkeit2							
	Fläche 1		Fläche 2		Fläche 3		Fläche 4	
	unbehandelt		Easy-white Office®		Oxy-white®		Oxy-white® ohne Laser	
	vorher	nachher	vorher	nachher	vorher	nachher	vorher	nachher
4	2 L 1,5	2 L 1,5	2 R 1,5	1 M 1	2 R 1,5	1 M 1	2 L 1,5	2 L 1,5
11	2 L 2,5	2 L 2,5	2 L 2,5	2 L 1,5	2 L 2,5	2 L 1,5	2 L 2,5	2 L 1,5
13	2 L 2,5	2 L 2,5	2 L 2,5	2 L 1,5	2 L 2,5	2 L 1,5	2 L 2,5	2 L 1,5
14	2 R 2,5	2 R 2,5	2 L 2,5	2 L 1,5	2 L 2,5	2 L 1,5	2 R 2,5	2 R 1,5
17	2 L 1,5	2 L 1,5	2 L 1,5	2 L 1,5	2 L 2,5	2 L 2,5	2 L 2,5	2 L 2,5
18	2 R 1,5	2 R 1,5	2 R 2,5	2 R 1,5	2 R 2,5	2 R 1,5	2 R 1,5	2 R 1,5
23	2 L 2,5	2 L 2,5	2 L 2,5	2 L 1,5	2 L 1,5	2 L 1,5	2 L 1,5	2 L 1,5
26	2 L 2,5	2 L 2,5	2 R 2,5	2 R 1,5	2 R 2,5	2 R 1,5	2 L 2,5	2 L 2,5
27	2 R 1,5	2 R 1,5	2 R 1,5	2 R 1,5	2 L 2,5	2 L 2,5	2 L 2,5	2 L 2,5
30	2 R 1,5	2 R 1,5	2 R 2,5	2 L 1,5	2 R 2,5	2 L 1,5	3 R 1,5	2 R 1,5

**Tabelle 6:** Die zu vergleichenden Flächen der Gruppe 1, Helligkeit 2. Guppe= Versuchsgruppe 1; Helligkeit= Helligkeit 2-4; Zahn= 10 Zahnpräparate mit der Helligkeit 2; 2 R 1,5 (beispielhaft für alle Zahnfarben) 2= Helligkeit, R= Farbton: R= rötlich, M= mittel, L= gelblich; 1,5= Farbintensität 1-3 mit Zwischenstufen; Flächen 1-4= Zahnflächen, die entsprechend behandelt wurden.

Zahn	Gruppe 2, Helligkeit 3							
	Fläche 1		Fläche 2		Fläche 3		Fläche 4	
	unbehandelt		Easy-white Office®		Oxy-white®		Oxy-white® ohne Laser	
	vorher	nachher	vorher	nachher	vorher	nachher	vorher	nachher
5	3 R 1,5	3 R 1,5	3 R 1,5	2 L 1,5	3 L 2,5	2 L 2,5	3 L 2,5	2 L 2,5
6	3R 1,5	3 R 1,5	3 R 1,5	2 R 1,5	3 R 1,5	2 R 1,5	3 R 1,5	2 M 1
9	3 M 1	3 M 1	3 M 1	2 R 1,5	3 L 1,5	2 L 2,5	3 L 1,5	2 L 2,5
10	3 M 2	3 M 2	3 L 1,5	3 L 1,5	3 L 1,5	2 L 2,5	3 M 2	2 R 1,5
16	3 L 2,5	3 L 2,5	3 L 2,5	2 L 2,5	3 L 1,5	2 R 1,5	3 L 1,5	2 R 1,5
19	3 R 2,5	3 R 2,5	3 R 2,5	2 R 1,5	3 R 2,5	2 R 1,5	3 L 2,5	2 L 2,5
22	3 L 1,5	3 L 1,5	3 L 1,5	2 M 1	3 L 1,5	2 L 1,5	3 L 1,5	2 L 1,5
24	3 M 2	3 M 2	3 M 2	2 R 2,5	3 M 2	2 R 2,5	3 M 2	2 R 1,5
25	3 R 1,5	3 R 1,5	3 R 1,5	2 L 1,5	3 R 1,5	2 L 1,5	3 R 1,5	2 L 1,5
29	3 R 1,5	3 R 1,5	3 R 1,5	2 L 1,5	3 R 1,5	2 L 1,5	3 R 1,5	2 L 1,5

**Tabelle 7:** Die zu vergleichenden Flächen der Gruppe 2, Helligkeit 3. Guppe= Versuchsgruppe 2; Helligkeit 3= Helligkeit 2-4; Zahn= 10 Zahnpräparate mit der Helligkeit 3; 2 R 1,5 (beispielhaft für alle Zahnfarben) 2= Helligkeit, R= Farbton: R= rötlich, M= mittel, L= gelblich; 1,5= Farbintensität 1-3 mit Zwischenstufen; Flächen 1-4= Zahnflächen, die entsprechend behandelt wurden.

Zahn	Gruppe 3, Helligkeit 4							
	Fläche 1		Fläche 2		Fläche 3		Fläche 4	
	unbehandelt		Easy-white Office®		Oxy-white®		Oxy-white® ohne Laser	
	vorher	nachher	vorher	nachher	vorher	nachher	vorher	nachher
1	4 L 1,5	4 L 1,5	4 L 1,5	3 L 1,5	3 L 1,5	2 L 1,5	3 L 1,5	2 L 1,5
2	4 L 2,5	4 L 2,5	4 L 1,5	3 L 2,5	4 L 1,5	3 L 2,5	3 L 2,5	2 R 1,5
3	4 R 2,5	4 R 2,5	4 L 1,5	3 L 2,5	4 R 1,5	3 R 1,5	4 R 1,5	3 L 1,5
7	4 L 2,5	4 L 2,5	3 L 2,5	3 L 1,5	4 L 1,5	3 M 1	4 L 1,5	3 M 1
8	4 R 1,5	4 R 1,5	3 R 2,5	2 R 1,5	4 R 1,5	3 R 1,5	4 R 1,5	3 L 2,5
12	4 L 2,5	4 L 2,5	4 L 1,5	3 L 1,5	4 L 1,5	3 L 1,5	3 L 2,5	2 L 2,5
15	4 L 2,5	4 L 2,5	4 R 1,5	3 R 1,5	4 R 1,5	3 L 2,5	3 L 2,5	3 L 2,5
20	4 M 2	4 M 2	4 M 2	3 R 2,5	3 L 2,5	2 L 2,5	3 L 2,5	2 L 2,5
21	4 R 1,5	4 R 1,5	3 L 2,5	2 L 2,5	3 L 2,5	2 L 2,5	4 R 1,5	3 R 1,5
28	4 R 1,5	4 R 1,5	4 R 1,5	3 R 1,5	4 R 1,5	3 R 1,5	4 R 1,5	3 R 1,5

**Tabelle 8:** Die zu vergleichenden Flächen der Gruppe 3, Helligkeit 4. Guppe= Versuchsgruppe 3; Helligkeit 4= Helligkeit 2-4; Zahn= 10 Zahnpräparate mit der Helligkeit 4; 2 R 1,5 (beispielhaft für alle Zahnfarben) 2= Helligkeit, R= Farbton: R= rötlich, M= mittel, L= gelblich; 1,5= Farbintensität 1-3 mit Zwischenstufen; Flächen 1-4= Zahnflächen, die entsprechend behandelt wurden.

Gruppe 1								
Helligkeit	Fläche 1		Fläche 2		Fläche 3		Fläche 4	
	v	n	v	n	v	n	v	n
1	0	0	0	1	0	1	0	0
2	10	10	10	9	10	9	10	9
3	0	0	0	0	0	0	0	1
4	0	0	0	0	0	0	0	0
p-Wert	1,000		0,305		0,305		0,353	

**Tabelle 9:** Statistische Analyse der Helligkeit der Gruppe 1 mit dem Chi-Quadrat-Test, v= vor dem Bleichen, n= nach dem Bleichen. Da bei einem p-Wert unter 0,05 eine

statistisch signifikante Veränderung der Zahnfarbe angenommen wurde, war hierbei statistisch keine signifikante Veränderung zu erkennen.

Gruppe 1								
Farbton	Fläche 1		Fläche 2		Fläche 3		Fläche 4	
	v	n	v	n	v	n	v	n
1	6	6	5	6	6	7	7	7
2	0	0	0	1	0	1	0	0
3	4	4	5	3	4	2	3	3
4	0	0	0	0	0	0	0	0
p-Wert	1,000		0,484		0,418		1,000	

**Tabelle 10:** Statistische Analyse des Farbtons der Gruppe 1 mit dem Chi-Quadrat-Test, v= vor dem Bleichen, n= nach dem Bleichen. Da bei einem p-Wert unter 0,05 eine statistisch signifikante Veränderung der Zahnfarbe angenommen wurde, war hierbei statistisch keine signifikante Veränderung zu erkennen.

Gruppe 1								
Intensität	Fläche 1		Fläche 2		Fläche 3		Fläche 4	
	v	n	v	n	v	n	v	n
1	0	0	0	1	0	1	0	0
1,5	5	5	3	9	2	7	4	7
2	0	0	0	0	0	0	0	0
2,5	5	5	7	0	8	2	6	3
p-Wert	1,000		0,004		0,025		0,178	

**Tabelle 11:** Statistische Analyse der Intensität der Gruppe 1 mit dem Chi-Quadrat-Test, v= vor dem Bleichen, n= nach dem Bleichen. Da bei einem p-Wert unter 0,05 eine statistisch signifikante Veränderung der Zahnfarbe angenommen wurde, war hier bei den Flächen 2 und 3 eine statistisch signifikante Veränderung zu erkennen.

Gruppe 2								
Helligkeit	Fläche 1		Fläche 2		Fläche 3		Fläche 4	
	v	n	v	n	v	n	v	n
1	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	9	0	10	0	10
3	10	10	10	1	10	0	10	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0
p-Wert	1,000		0,000		0,000		0,000	

**Tabelle 12:** Statistische Analyse der Helligkeit der Gruppe 2 mit dem Chi-Quadrat-Test, v= vor dem Bleichen, n= nach dem Bleichen. Da bei einem p-Wert unter 0,05 eine statistisch signifikante Veränderung der Zahnfarbe angenommen wurde, war hier bei den Flächen 2-4 eine statistisch signifikante Veränderung zu erkennen.

Gruppe 2								
Farbton	Fläche 1		Fläche 2		Fläche 3		Fläche 4	
	v	n	v	n	v	n	v	n
1	2	2	3	5	5	6	5	6
2	3	3	2	1	1	0	2	1
3	5	5	5	4	4	4	3	3
4	0	0	0	0	0	0	0	0
p-Wert	1,000		0,624		0,580		0,809	

**Tabelle 13:** Statistische Analyse des Farbtons der Gruppe 2 mit dem Chi-Quadrat-Test, v= vor dem Bleichen, n= nach dem Bleichen. Da bei einem p-Wert unter 0,05 eine statistisch signifikante Veränderung der Zahnfarbe angenommen wurde, war hierbei statistisch keine signifikante Veränderung zu erkennen.

Gruppe 2								
Intensität	Fläche 1		Fläche 2		Fläche 3		Fläche 4	
	v	n	v	n	v	n	v	n
1	1	1	1	1	0	0	0	1
1,5	5	5	6	7	7	6	6	6
2	2	2	1	0	1	0	2	0
2,5	2	2	2	2	2	4	2	3
p-Wert	1,000		0,783		0,418		0,362	

**Tabelle 14:** Statistische Analyse der Intensität der Gruppe 2 mit dem Chi-Quadrat-Test, v= vor dem Bleichen, n= nach dem Bleichen. Da bei einem p-Wert unter 0,05 eine statistisch signifikante Veränderung der Zahnfarbe angenommen wurde, war hierbei statistisch keine signifikante Veränderung zu erkennen.

Gruppe 3								
Helligkeit	Fläche 1		Fläche 2		Fläche 3		Fläche 4	
	v	n	v	n	v	n	v	n
1	0	0	0	1	0	0	0	0
2	0	0	0	2	0	3	0	4
3	0	0	3	3	3	7	5	6
4	10	10	7	4	7	0	5	0
p-Wert	1,000		0,282		0,003		0,011	

**Tabelle 15:** Statistische Analyse der Helligkeit der Gruppe 3 mit dem Chi-Quadrat-Test, v= vor dem Bleichen, n= nach dem Bleichen. Da bei einem p-Wert unter 0,05 eine statistisch signifikante Veränderung der Zahnfarbe angenommen wurde, war hier bei den Flächen 3 und 4 eine statistisch signifikante Veränderung zu erkennen

Gruppe 3								
Farbton	Fläche 1		Fläche 2		Fläche 3		Fläche 4	
	v	n	v	n	v	n	v	n
1	5	5	6	6	6	6	6	6
2	1	1	1	0	0	1	0	1
3	4	4	3	4	4	3	4	3
4	0	0	0	0	0	0	0	0
p-Wert	1,000		0,565		0,565		0,565	

**Tabelle 16:** Statistische Analyse des Farbtons der Gruppe 3 mit dem Chi-Quadrat-Test, v= vor dem Bleichen, n= nach dem Bleichen. Da bei einem p-Wert unter 0,05 eine statistisch signifikante Veränderung der Zahnfarbe angenommen wurde, war hierbei statistisch keine signifikante Veränderung zu erkennen.



Gruppe 3								
Intensität	Fläche 1		Fläche 2		Fläche 3		Fläche 4	
	v	n	v	n	v	n	v	n
1	0	0	1	0	0	1	0	1
1,5	4	4	6	6	8	5	6	5
2	1	1	1	0	0	0	0	0
2,5	5	5	3	4	2	4	4	4
p-Wert	1,000		0,552		0,307		0,580	

**Tabelle 17:** Statistische Analyse der Intensität der Gruppe 3 mit dem Chi-Quadrat-Test, v= vor dem Bleichen, n= nach dem Bleichen. Da bei einem p-Wert unter 0,05 eine statistisch signifikante Veränderung der Zahnfarbe angenommen wurde, war hierbei statistisch keine signifikante Veränderung zu erkennen.

## 7. Literaturverzeichnis

Addy M, Moran J. Mechanisms of stain formation on teeth, in particular associated with metal ions and antiseptics. *Adv Dent Res* 1995; 9: 450

Akal N, Over H, Olmez A, Bodur H. Effects of carbamide peroxide containing bleaching agents on morphology and subsurface hardness of enamel. *J Clin Pediatr Dent* 2001; 25: 293-296

Al-Salehi SK, Wood DJ, Hatton PV. The effect of 24h non-stop hydrogen peroxide concentration on bovine enamel and dentine mineral content and microhardness. *J Dent* 2007; 35: 845-850

Attin T. Sicherheit und Anwendung von carbamid - peroxidhaltigen Gelen bei Bleichtherapien. *Dtsch Zahnärztl Zeitung* 1998; 53: 11-16

Attin T, Kielbassa AM. Die Bleichbehandlung - ein fester Bestandteil ästhetischer Zahnheilkunde. *ZM 85* 1995; 22: 54-67

Attin T, Kielbassa AM, Schwanenberg M, Hellwig E. Effect of fluoride treatment on remineralization of bleached enamel. *J Oral Rehabil* 1997; 24: 282-286

Attin T, Paqué F, Sennon AM. Review of the current status of tooth whitening with the walking bleach technique. *Int Endod J* 2003; 36: 313-329

Auschill TM, Barcsay LA, Arweiler NB. Strips versus gel: a clinical comparison of two over-the-counter bleaching systems. *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 2007; 117: 843-856

Auschill TM, Hellwig E, Schmidale S, Hanning M, Arweiler NB. Effectiveness of various whitening techniques and their effects on the enamel surface. *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 2002; 112: 894-900

Baik JW, Rueggeberg FA, Liewehr FR. Effect of light- enhanced bleaching on in vitro surface and intrapulpal temperature rise. *J Esthet Restor Dent* 2001; 13: 370-378

Bailey SJ, Swift EJ. Effects of home bleaching products on composite resins. *Quintessence Int* 1992; 23: 143-154

Bali U, Catalkaya E, Sengül F. Photodegradation of Reactive Black 5, Direct Red 28 and direct Yellow 12 using UV, UV/H (2) O (2) and UV/H (2) O (2)/ Fe (2+): a comparative study. *J Hazard Mater* 2004; 114: 159-166

Bistey T, Nagy IP, Simó A, Hegedus C. In vitro FT-IR study of the effects of hydrogen peroxide on superficial tooth enamel. *J Dent* 2007; 35: 325-330

Bitter NC. A scanning electron microscope study of the long-term effect of bleaching agents on the enamel surface in vivo. *Gen Dent* 1998; 46: 84-88

Bizhang M, Seemann R, Duve G, Römhild G, Altenburger JM, Jahn KR, Zimmer S. Demineralization effects of 2 bleaching procedures on enamel surface with and without post-treatment fluoride application. *Oper Dent* 2006; 31: 705-709

Bose M., Ott K. H. R.

Das Bleichen von Zähnen.

*Dtsch Zahnärztl Z* 1994; 49: 209-212

Cadenaro M, Breschi L, Nucci C, Antonioli F, Visintini E, Prati C, Matis BA, Di Lenarda R. Effect of two in-office whitening agents on the enamel surface in vivo: a morphological and non-contact profilometric study. *Oper Dent* 2008; 33: 127-134

Chen HP, Chang CH, Liu JK, Chuang SF, Yang JY. Effect of fluoride containing agents on enamel surface properties. *J Dent* 2008; 36: 718-725

Cobankara FK, Unlü N, Altinöz HC, Füsün O. Effect of home bleaching agents on the roughness and surface morphology of human enamel and dentine. *Int Dent J* 2004; 54: 211-218

Deltamed. Gebrauchsinformation, Friedberg, 2004

Dostalova T. Diode Laser - Activated Bleaching. *Braz Dent* 2004; 15: 3-8

Duschner H, Götz H, White DJ, Kozak KM, Zoladz JR. Effects of hydrogen peroxide bleaching strips on tooth surface color, surface microhardness, surface and subsurface ultrastructure, and microchemical (Raman spectroscopic) composition. *J Clin Dent* 2006; 17: 72-78

Dwinelle WW. Ninth annual meeting of American society of dental surgeons. Article X *Am J Dent Sci* 1850; 1: 57

Efeoglu N, Wood DJ, Efeoglu C. Thirty-five percent carbamide peroxide application causes in vitro demineralization of enamel. *Dent Mater* 2007; 23: 900-904

Ernst CP, Marroquin BB, Willershausen-Zönnchen B. Effects of hydrogen peroxide-containing bleaching agents on the morphology of human enamel. *Quintessence Int* 1996; 27: 53-56

Featherstone JDB, Glana R, Shariati M, Shields CP. Dependence of in vitro Demineralization of Apatite and Remineralization of Dental Enamel on Fluoride Concentration. *J Dent Res* 1990; 69: 620-625

Feinmann RA, Goldstein RE, Garber DA. Bleaching teeth. Chicago: Quintessence, 1987

Fu B, Hoth-Hanning W, Hanning M. Effects of dental bleaching on micro- and nano-morphological alterations of the enamel surface. *Am J Dent* 2007; 20: 35-40

Glockner K, Ebeleseder K, Städtler P. Das Bleichen von verfärbten Frontzähnen. Dtsch Zahnärztl Z 1997; 52: 311–317

Gontijo IT, Navarro RS, Ciamponi AL, Miyakawa W, Zezell DM. Color and surface temperature variation during bleaching in human devitalized primary teeth: an in vitro study. J Dent Child (Chic) 2008; 75: 229-234

Gontijo IT, Navarro RS, Ciamponi AL, Zezell DM. Whitening techniques using the diode laser and halogen lamp in human devitalized primary teeth. J Dent Child (Chic) 2008; 75: 164-167

Götz H, Klukowska MA, Duschner H, White DJ. Physical, morphological, and micro-Raman chemical studies on bleaching strip effects on enamel, coronal dentin, and root dentin. J Clin Dent 2007; 18: 112-119

Gülzow HJ, Opel HH. Vergleichende Untersuchungen über den Reinigungseffekt von Kurzkopfbürsten mit unterschiedlichen Borstenfeldern. Dtsch Zahnärztl Z 1975; 30: 576-580

Hagedüs C, Bistey T, Flóra-Nagy E, Keszthelyi G, Jenei A. An atomic force microscopy study on the effect of bleaching agents on enamel surface. J Dent 1999; 27: 509-515

Harlan AW. The removal of stains from teeth caused by administration of medical agents and the bleaching of a pulp less tooth. Am J Dent Sci 18; 521: 1884-1885

Hellwig E, Klimek J, Attin TH. Einführung in die Zahnerhaltung.  
München - Jena: Urban und Fischer, 2003

Hopp M, Biffar R. Laserunterstütztes Bleaching mit dem Diodenlaser MDL 15 (980 nm). Laser Zahnheilkunde 2004; 4/ 04: 261-268

Howard WR. Patient - applied tooth whiteners. J Am Dent Assoc 1992; 123: 57-60

Hummert TW, Osborne JW, Norling BK, Cardenas HL. Mercury in solution following exposure of various amalgams to carbamide peroxides. *Am J Dent* 1993; 6: 305-309

Imfeld T, Sener B. In-vitro-Untersuchung der mechanischen Wirkung von Whitening - Zahnpasten des Schweizer Marktes. *Acta Med Dent Helv* 1999; 4: 195-200

Itthagarun A, Wei SHY. The effect of different commercial dentifrices on enamel lesion progression: an in vitro pH-cycling study. *Int Dental Journal* 2000; 50: 21-28

Jiang T, Ma X, Wang Y, Tong H, Shen X, Hu Y, Hu J. Investigation of the effects of 30% hydrogen peroxide on human tooth enamel by Raman scattering and laser-induced fluorescence. *J Biomed Opt.* 2008; 13: 014019

Jiang T, Ma X, Wang Z, Tong H, Hu J, Wang Y. Beneficial effects of hydroxyapatite on enamel subjected to 30% hydrogen peroxide. *J Dent* 2008; 36: 907-914

Joiner A. Review of the effects of peroxide on enamel and dentine properties. *J Dent* 2007; 35: 889-896

Kershaw S, Newton JT, Williams DM. The influence of tooth colour on the perceptions of personal characteristics among female dental patients: comparisons of unmodified, decayed and whitened teeth. *Br Dent J* 2008; 204: E9; discussion 256-257

Kielbassa AM, Wrbas K-Th. Extrinsische und intrinsische Zahnverfärbungen. *ZWR*, 109. Jahrgang; 2000; 4: 177-183

Kolbeck C, Rosentritt M, Lang R, Handel G. Discoloration of facing and restorative composites by UV-irradiation and staining food. *Dent Mater.* 2006; 22: 254-259

Koort HJ, Frentzen M. Histological techniques to study laser effects in mineralized tissues. Jaques SL, ed. *Laser-tissue interaction IV*. SPIE 1882; 1992: 412-421

Krause F, Braun A, Jepsen S. Klinische Aspekte der Zahnbleichung. Tzb11, 2004

Lee KH, Kim HI, Kim KH, Kwon YH. Mineral loss from bovine enamel by a 30% hydrogen peroxide solution. J Oral Rehabil 2006; 33: 229-233

Leonard RH, Haywood VB, Phillips C. Risk factors for developing tooth sensitivity and gingival irritation associated with night guard vital bleaching. Quintessence Int 1997; 28: 527-534

Leonard RH, Teixeira EC, Garland GE, Ritter AV. Effect on enamel microhardness of two consumer-available bleaching solutions when compared with a dentist-prescribed, home-applied bleaching solution and a control. J Esthet Restor Dent 2005; 17: 343-350

Lima DA, Aguiar FH, Liporoni PC, Munin E, Ambrosano GM, Lovadino JR. In vitro evaluation of the effectiveness of bleaching agents activated by different light sources. J Prosthodont 2009

Lips M. Blondierte Zähne. Zahnärztl Mitt 2004; 14: 32

Llena Puy MC, Forner Navarro L, Ferrandez A, Faus Llacer JV. The effect of 2 bleaching agents on the enamel surface. An in-vitro study. Bull Group Int Sci Stomatol Odontol 1992; 35: 117-120

Marson FC, Sensi LG, Vieiera LC, Araujo E. Clinical evaluation of in-office dental bleaching treatments with and without the use of light-activation sources. Oper Dent. 2008; 33: 15-22

McCracken MS, Haywood VB. Demineralization effects of 10 percent carbamide peroxide. J Dent 1996; 24: 395-398

Mc Evoy SA. Chemical agents for removing intrinsic stains from vital teeth.

I. Technique development. Quintessence Int 1998; 20: 323

McGuckin RS, Babin JF, Meyer BJ. Alterations in human enamel surface morphology following vital bleaching. *J Prosthet Dent* 1992; 68: 754-760

Nathoo SA. The chemistry and mechanisms of extrinsic and intrinsic discoloration. *J Am Dent Assoc* 1997; 128: 6-10

Nucci C, Marchionni S, Piana G, Mazzoni A, Prati C. Morphological evaluation of enamel surface after application of two "home" whitening products. *Oral Health Prev Dent* 2004; 2: 221-229

Oltu Ü, Gürkan S. Effects of three concentrations of carbamide peroxide on the structure of enamel. *J Oral Rehabil* 2000; 27: 332-340

Park HJ, Kwon TY, Nam SH, Kim HJ, Kim KH, Kim YJ. Changes in bovine enamel after treatment with a 30% hydrogen peroxide bleaching agent. *Dent Mater J* 2004; 23: 517-521

Pascher DD. Zwei-Jahres-Untersuchung dreier verschiedener kommerzieller Homebleaching-Produkte in Bezug auf Bleichwirkung und Wirkungsdauer in vivo. München: Med Diss, 2004

Pinto CF, Oliveira R, Cavalli V, Giannini M. Peroxide bleaching agent effects on enamel surface microhardness, roughness and morphology. *Braz Oral Res* 2004; 18: 306-311

Polydorou O, Hellwig E, Hahn P. The efficacy of three different in-office bleaching systems and their effect on enamel microhardness. *Oper Dent* 2008; 33: 579-586

Pugh GJr, Zaidel L, Lin N, Stranick M, Bagley D. High levels of hydrogen peroxide in overnight tooth-whitening formulas: effects on enamel and pulp. *J Esthet Restor Dent* 2005; 17: 40-45



Raab WH-M, Müller H. Temperaturabhängige Veränderungen der Mikrozirkulation der Zahnpulpa. Dtsch Zahnärztl Z 1989; 44: 496

Redmont AF, Cherry DV, Bowers DE Jr. Acute illness and recovery in adult female rats following ingestion of a tooth whitener containing 6 % hydrogen peroxide. Am J Dent 1997; 10: 268–271

Rotstein I, Dogan H, Avron Y, Shemesh H, Steinberg D. Mercury release from dental amalgam after treatment with 10 % carbamide peroxide in vitro. Oral Surg Oral Med Oral Pathol 2000; 89: 216–219

Shannon H, Spencer P, Gross K, Tira D. Characterization of enamel exposed to 10% carbamide peroxide bleaching agents. Quintessence Int 1993; 24: 39-40

Shinohara MS, Rodrigues JA, Pimenta LAF. In vitro micro leakage of composite restorations after nonvital bleaching. Quintessence Int 2001; 32: 413-417

Southworth BA, Voelker BM. Hydroxyl Radical Production via the Photo-Fenton Reaction in the Presence of Fulvic Acid. Environ Sci Technol. 2003; 37: 1130-1136

Sun G. The role of lasers in cosmetic dentistry. Dent Clin North Am 200; 44: 831-850

Ten Cate JM, Duijsters PPE. Alternating Demineralization and Remineralization of Artificial Enamel Lesions. Caries Res. 1982; 16: 201-210

Tezel H, Ertas OS, Ozata F, Daglar H, Korkut ZO. Effect of bleaching agents on calcium loss from the enamel surface. Quintessence Int 2007; 38: 339-347

Titley KC, Torneck CD, Ruse ND, Krmec D. Adhesion of a resin composite to bleached and unbleached human enamel. J Endodont 1993; 19: 112-115

Tokumura M, Ohta A, Znad HT, Kawase Y. UV light assisted decolorization of dark brown colored coffee effluent by photo-Fenton reaction. *Water Res.* 2006; 40: 3775-84

Topoll HH. Prophylaxe marginaler Parodontopathien. In: Ketterl W, Hrsg. *Praxis der Zahnheilkunde Band 3*. München - Wien - Baltimore: Urban und Schwarzenberg, 1993: 59-83

Torrades F, Perez M, Mansilla HD, Peral J. Experimental design of Fenton and photo-Fenton reactions for the treatment of cellulose bleaching effluents. *Chemosphere* 2003; 53: 1211-20

Vident™. How to take a shade. 3D-Master shade Guide. [www.vident.com](http://www.vident.com)

VITA® - Das Zahnfarbsystem. Produktinformation der VITA® Zahnfabrik. Bad Säckingen, 1998

Vitapan 3- D Master® Tooth Guide/ Color Guide. Produktinformation der VITA® Zahnfabrik. Bad Säckingen, 1998

Wandera A, Feigal RJ, Douglas WH, Piantado MR. Home-use tooth bleaching agents: an in vitro study on quantitative effects on enamel, dentin, and cementum. *Quintessence Int* 1994; 25: 541-546

White DJ, Kozak KM, Zoladz JR, Duschner HJ, Götz H. Effects of Crest Whitestrips bleaching on subsurface microhardness and ultrastructure of tooth enamel and coronal dentin. *Am J Dent* 2004; 17: 5-11

Wiegand A, Attin T. Internes und externes Bleichen von Zähnen- eine Übersicht. *Oralprophylaxe* 2002; 24: 153-159

Willershausen B, Schulz-Dobrick B, Kurth P, Azrak B, Gleissner C. Power-Bleaching kann den Schmelz schädigen. *Zm* 97 2007; 16: 36-40

Worschech CC, Rodrigues JA, Martins LR, Ambrosano GM. Brushing effect of abrasive dentifrices during at-home bleaching with 10% carbamide peroxide on enamel surface roughness. J contemp Dent Pract 2006; 7: 25-34

Yurdukoru B, Akören AC, Unsal MK. Alterations in human enamel surface morphology following the use of an office bleaching agent and consecutive application of 37% phosphoric acid in vivo. J Clin Dent 2003; 14: 103-107

Zalkind M, Arwaz JR, Goldmann A, Rotstein I. Surface morphology changes in human enamel, dentin and cementum following bleaching: a scanning electron microscopy study. Endod Dent Traumatol 1996; 12: 82-88

Zaragoza VMT. Bleaching of vital teeth: Technique. Esto Modeo 1984; 7-30