

**Ultrastrukturelle Analyse der Schmelzoberfläche
nach Einwirkung des Bleichmittels
Colgate Simply White®**

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

vorgelegt von
Kristina Maria Kewitz
aus Münster

2007

Angefertigt mit Genehmigung der
Medizinischen Fakultät der Universität Bonn

1. Gutachter: Prof. Dr. med. dent. M. Frentzen
2. Gutachter: Prof. Dr. med. dent. H. Stark

Tag der Mündlichen Prüfung: 23.10.2007

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

Diese Dissertation ist auf dem Hochschulschriftenserver der ULB Bonn
http://hss.ulb.uni-bonn.de/diss_online elektronisch publiziert.

Meinen Eltern

I Inhaltsverzeichnis

I	Inhaltsverzeichnis	5
II	Abkürzungsverzeichnis	8
1	Einleitung	10
1.1	Einführung in die Thematik	10
1.2	Die Zahnfarbe	11
1.3	Indikationen zur Korrektur der Zahnfarbe	14
1.4	Ursachen für Zahnverfärbungen	15
1.5	Wirkweisen der Bleichmittel	20
1.6	Nebenwirkungen der Bleichmittel	26
1.6.1	Veränderungen der Zahnhartsubstanz	26
1.6.2	Zunahme der Frakturanfälligkeit	28
1.6.3	Postoperative Sensibilitätsstörungen	29
1.6.4	Irritation der Schleimhaut	30
1.6.5	Veränderungen von Restaurationen	30
1.6.6	Systemische Auswirkungen	32
1.6.7	Mikrobielle Besiedlung und Bleichen	32
1.7	Bleichsysteme	33
1.7.1	Internes Bleichen	33
1.7.2	Externes Bleichen	36
	1.7.2.1 Applikationssysteme	39
	1.7.2.1.1 Schienensysteme	39
	1.7.2.1.2 Foliensysteme	41
	1.7.2.1.3 Lokale Applikation	43
	1.7.2.1.4 Licht- bzw. laserassistierte Techniken	44
1.8	Klinische Vorgehensweise	47
1.8.1	Untersuchung und Befundung vor dem Bleichen	47
1.8.2	Voraussetzungen und vorbereitende Maßnahmen vor Beginn einer Bleichtherapie	48
1.8.3	Nachbehandlung nach erfolgtem Bleichen	49
1.9	Literaturübersicht zum Zahnbleichen	50
1.10	Fragestellung / Ziel der Studie	51

2	Material und Methoden	52
2.1	Colgate Simply White®	52
2.2	Farbbestimmung – Vita® 3D System	53
2.3	Versuchsplanung	58
2.3.1	Versuchsdesign	58
2.3.2	Auswahl und Vorbereitung der Schmelzproben	59
2.3.3	Vorbehandlung und Lagerungsmedium	61
2.3.4	Bleichvorgang	63
2.3.5	Fluoridierung	63
2.3.6	pH-Cycling	64
2.3.7	REM-Analyse	66
2.3.8	Statistische Auswertung	71
3	Ergebnisse	72
3.1	Farbveränderung der Schmelzproben	72
3.2	Oberflächenmorphologie des Zahnschmelzes nach den Bleichmaßnahmen	81
4	Diskussion	87
4.1	Farbergebnisse	87
4.2	pH-Cycling	90
4.3	Fluoridierung	91
4.4	Oberflächenmorphologie	93
4.5	Resümee	98
5	Zusammenfassung	99
6	Anhang	100
6.1	Farbergebnistabelle	100
6.2	REM-Bilder	111
6.3	Auswertung der Oberflächenmerkmale auf den Schmelzproben	117
6.4	Herstellerverzeichnis	119

7	Literaturverzeichnis	121
8	Danksagung	127

II Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Erklärung
Abb	Abbildung
As	Amperesekunde
°C	Grad Celsius
CaCl ₂	Calciumchlorid
CaF ₂	Calciumfluorid
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
CT	Computertomograph
F	Fluorid
FDA	Food and Drug Administration
g	Gramm
GaAs-Diodenlaser	Gallium-Arsenid-Diodenlaser
HCl	Salzsäure
H ₂ O ₂	Wasserstoffperoxid
°K	Grad Kelvin
KCl	Kaliumchlorid
KH ₂ PO ₄	Kaliumdihydrogenphosphat
Lux	SI-Einheit für die Beleuchtungsstärke
µm	Mikrometer
mg	Milligramm
mg/l	Milligramm pro Liter
Mio	Millionen
Min	Minute
ml	Milliliter
mm	Millimeter
mmol	Millimol
mmol/l	Millimol pro Liter
NaCl	Natriumchlorid
NaF	Natriumfluorid
Na ₃ PO ₄	Natriumphosphat
Nd:YAG-Laser	Neodym dotierter Yttrium-Aluminium-Granat-Laser
nm	Nanometer

Abkürzung	Erklärung
NP	Natriumperborat
pH	Negativer dekadischer Logarithmus der Wasserstoffionenkonzentration
ppm	Parts per million
REM	Rasterelektronenmikroskop
s	Sekunde
Tab	Tabelle
UV-Licht	Ultraviolettes Licht

1 Einleitung

1.1 Einführung in die Thematik

Weißere Zähne steigern die Attraktivität – eine Meinung, die offensichtlich die westliche Welt erobert. Daraus resultiert der Trend, dass die westliche Bevölkerung zunehmend an einem strahlend weißen Lächeln interessiert ist. Die Zähne und vor allem deren helle Farbe spielen für viele eine große Rolle für ein attraktives Aussehen (Peters, 2003).

Weißer Zähne entsprechen in unseren Breiten dem Schönheitsideal. In anderen Kulturkreisen sieht das allerdings gänzlich anders aus. In Südamerika, Malaysia und der Südsee gibt es Völker, die etwa mit Kräutern und Tinkturen im Rahmen von Reife- und Hochzeitsbräuchen ihre Zähne schwarz färben, um ihre Attraktivität für das andere Geschlecht zu steigern. Bereits die Azteken färbten ihre Zähne zur Verschönerung mit dem Farbstoff der Cochenille-Läusen dunkelviolet und rot (Lips, 2004).

Der Trend zum Weiß kommt wie auch andere modische Entwicklungen aus den USA und beeinflusst nun auch die deutsche Kosmetikbranche. Das neue Schönheitsideal eines strahlend weißen Lächelns wird präsentiert durch Hollywoodstars wie Julia Roberts, Demi Moore und Tom Cruise. In der Fernsehwerbung für diverse Bleichprodukte wird dem Verbraucher suggeriert, dass ultraweiße Zähne attraktiver seien (Karrer, 2004; Lips, 2004). Während um 1900 für Zahnpasta damit geworben wurde, dass der Verbraucher Zähne so stark und fest wie die eines Elefanten haben solle, bedient sich die Werbung schon seit etwa 1925 des Ideals leuchtend weißer Zähne (Karrer, 2004). Drogerien und Apotheken verkaufen vermehrt Bleichprodukte und Patienten treten mit dem Wunsch, hellere Zähne zu bekommen, an ihren Zahnarzt heran. Wie eine Umfrage ergab, hätten 41 Prozent der Befragten gerne weißere Zähne (Lips, 2004). In den Niederlanden gibt es bereits „Whitening Center“ und es werden auch höher konzentrierte Produkte in den USA und einigen europäischen Ländern frei im Handel verkauft, die in Deutschland den Zahnarztpraxen vorbehalten sind (Koch, 2003).

Die Anfänge auf dem Gebiet des Zähnebleichens in Europa gehen bis ins Mittelalter zurück. Dabei wurde hier häufig Salpetersäure verwendet, die den Zahnschmelz zerstörte. Seit Ende des 19. Jahrhunderts verwendeten die Zahnärzte Oxalsäure und später Wasserstoffsuperoxid.

Seit den 30er Jahren ist das Bleichen vitaler Zähne mit H_2O_2 anerkannt und verbreitet. Die zahnaufhellende Wirkung von Carbamidperoxid wurde durch Zufall aufgrund einer Nebenwirkung einer Salbe zur Gingivitis therapie, die Carbamidperoxid enthielt, entdeckt. Diese

Erkenntnis wurde weiterentwickelt und 1989 kam das erste kommerzielle Bleichprodukt auf den Markt (Lips, 2004). Die Umsatzzahlen für das externe Bleichen stiegen von 1,67 Mio. DM (1995) auf 4,40 Mio. DM (1999). Zahnaufhellungsmittel wurden im Jahr 2000 als Medizinprodukte ausgewiesen, was den Vertrieb in Deutschland überhaupt erst ermöglichte, da für Mundpflegemittel eine maximale Wasserstoffperoxidkonzentration von 0,1% nicht überschritten werden darf. Dieser geringe Prozentsatz ist zum Zweck der Zahnaufhellung unwirksam (Attin und Burgmaier et al., 2001).

Das zunehmende öffentliche Interesse am Zähnebleichen spiegelt sich auch darin wider, dass in diversen verbraucherorientierten Magazinen Artikel mit dieser Thematik veröffentlicht werden. So beschäftigte sich beispielsweise jüngst die Stiftung Warentest damit, verschiedene Bleichprodukte zu testen. Wird die Zahnhartsubstanz durch die Anwendung von Bleichprodukten geschädigt? Ist eine Wirksamkeit in Bezug auf ein zufrieden stellendes Aufhellungsergebnis gegeben? Das sind die entscheidenden Fragen, die sich im Rahmen der Anwendung von Bleichprodukten stellen.

1.2 Die Zahnfarbe

Der Begriff Farbe ist eine veränderliche Größe, die sich nicht physikalisch eindeutig definieren lässt. Es handelt sich um einen Sinneseindruck, der durch eine Lichtreflexion vom Objekt zum Auge ausgelöst und im Gehirn umgesetzt wird (Helfgen, 1995).

Verschiedene Farbeindrücke entstehen durch den molekular unterschiedlichen Aufbau des jeweiligen Objektes und dadurch bedingte unterschiedliche Absorption, Reflexion und Transmission des spektralen Lichtes (Kohlmeyer und Scheller, 2002).

Der Sinneseindruck einer Farbe wird durch drei Größen, die als objektiv betrachtet werden, beeinflusst. Dabei handelt es sich um die Art der Beleuchtung und deren Intensität sowie die optischen Eigenschaften des Farbgegenstands. Der Beleuchtungstyp kann anhand einer Farbtemperatur angegeben werden. Kälter bedeutet röter. Die spektrale Verteilung des Tageslichts zum Beispiel entspricht der Strahlung, die von einem Körper mit einer Temperatur von etwa 6500° K ausgeht.

Die subjektiven Größen der Farbe sind die Anregung der Sinneszellen auf der Netzhaut und die anschließende Interpretation im zentralen Nervensystem. Die optimale Farbauflösung erreicht das menschliche Auge bei einer Beleuchtungsintensität von ca. 2000 Lux. Bei der genauen Bestimmung einer Farbe besteht zusammenfassend betrachtet die Problematik, dass die Farbwahrnehmung individuell variiert und dass ausreichend stan-

standardisierte Bedingungen, wie eine vergleichbare Beleuchtung und Umgebungsfarbe, schwer zu schaffen sind (Faber, 2002).

Um die Thematik der Farbbestimmung weitmöglichst zu objektivieren, wurden verschiedene Denkmodelle wie zum Beispiel das System von Munsell aus dem Jahre 1936 entwickelt.

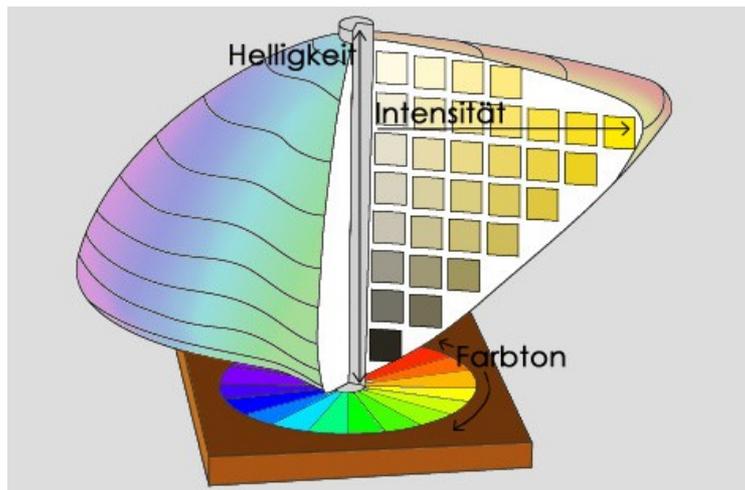


Abb. 1: Darstellung des Farbsystems von Munsell. Ein Viertel wurde ausgeschnitten, um die drei Farbdimensionen aufzeigen zu können (modifiziert nach Daniel Metz, 1998).

Die Abb. 1 zeigt das Farbsystem von Munsell. Hier ist zu sehen, dass Munsell bei der Farbbeschreibung drei Dimensionen als Charakteristika eines Farbtons unterscheidet: die Helligkeit, die Intensität und den Farbton (Helfgen, 1995).

Bis heute differenziert man beim Farbsehen zwischen diesen drei Größen, die jede Farbe festlegen können (Ditzinger, 2004; Helfgen, 1995).

Farbton und Sättigung sind qualitative Farbmerkmale, während die Helligkeit eine quantitative Komponente ist. Die Dimension des Farbtons (= Hue) beschreibt die Grundfarbe des Spektrums, wie Rot, Grün, Blau, Gelb usw. und wird in Form einer bestimmten Wellenlänge der Strahlungsenergie charakterisiert (Helfgen, 1995; Kohlmeyer und Scheller, 2002). In Bezug auf den Zahnfarbton beschränkt sich der Farbraum auf unbunte Rot- und Gelb-Töne (Ditzinger, 2004). Die Dimension der Sättigung/Intensität (= Chroma) beschreibt die Reinheit oder Stärke eines Farbtons, die der Helligkeit (= Value) gibt Auskunft über den Schwarzanteil und damit die Reflexionsfähigkeit der Farbe (Helfgen, 1995; Kohlmeyer und Scheller, 2002).



Abb. 2: Darstellung des Farbraumes auf der Form einer Kugel. Ein Viertel der Kugel fehlt, sodass der Zahnfarbraum hier gesondert markiert werden konnte.

Das rechte Bild zeigt den Zahnfarbraum nochmals vergrößert. Dort sind die Zahnfarben des Farbrings Vitapan 3D-Master® eingezeichnet (modifiziert nach Nier H, Tatzner P, Mudri R. Farbmessung in kleinsten Farbräumen am Bsp. der Zahnfarbenmessung; ARC – Seibersdorf Research GesmbH; 2444 Seibersdorf; Austria).

Der Zahnfarbraum beschreibt nur einen Bruchteil des gesamten Farbraums, wie Abb. 2 verdeutlicht. Das Spektrum der Zahnfarben nimmt nur 4,5% der möglichen Farben des Munsell-Systems ein.

Verschiedene Farbsysteme in der Zahnmedizin, die den Farbbereich der natürlichen Zähne abdecken sollen, arbeiten ebenfalls mit der Ordnung des Farbbereichs nach den Größen Helligkeit, Intensität und Farbton. Ein Beispiel ist der Vitapan 3D-Master®. Das rechte Bild der Abb. 2 zeigt die Verteilung der Farben des Vitapan 3D-Masters® innerhalb des Zahnfarbraums (Faber, 2002). Die Darstellung des Zahnfarbraums (Abb. 2) zeigt aufgrund der Dimensionierung in Richtung der Helligkeitsachse, dass die Helligkeit im Zahnfarbraum der Faktor mit der größten Spannweite an Möglichkeiten ist (Ditzinger, 2004).

Im Zahnbogen gibt es von Zahn zu Zahn Unterschiede in der Zahnfarbe. Dabei wird die Zahnfarbe sowohl im Ober- als auch im Unterkiefer vom mittleren Schneidezahn bis zum Eckzahn charakteristischerweise zunehmend dunkler, wobei die Zahnfarbe des Eckzahns im Oberkiefer sogar dunkler ist als die der Prämolaren. Weitere typische Merkmale sind eine tendenzielle Blaufärbung der seitlichen Schneidezähne sowie eine gelbliche Farbtendenz der Eckzähne im Oberkiefer. Beim Betrachter sorgen solche individuellen Farbunterschiede neben der Zahnform für einen plastischen Eindruck.

Die Zahnfarben innerhalb eines natürlichen Zahnes kommen durch die Schichtung von Dentin und Schmelz in verschiedenen Dicken zustande. Extreme sind hier der besonders dunkle Zahnhalsbereich, der allein aus Dentin besteht sowie der Approximalbereich und die Inzisalkante, welche aus reinem Schmelz bestehen und besonders hell erscheinen. Der Schmelz bedingt in erster Linie die Helligkeit der Zahnfarbe, da Schmelz aufgrund der beträchtlichen mineralischen Komponente von 95% eine Lichtdurchlässigkeit von 70% durch eine 1 mm dicke Probe aufweist. Das Dentin hingegen beeinflusst vornehmlich Farbton und Sättigung/Intensität der Zahnfarbe. Der mineralische Anteil des Dentins beträgt nur 70% und die Lichtdurchlässigkeit ist ebenfalls deutlich geringer als die des Schmelzes. Sie liegt bei 30% Licht durch eine 1 mm dicke Probe. Das bewirkt ein opakes Aussehen. Zudem führt die geringere Transluzenz zu einer Verstärkung der gelben und orangeroten Oberflächenreflexionen (Helfgen, 1995).

1.3 Indikationen zur Korrektur der Zahnfarbe

Einsatzgebiete für Bleichmittel liegen ganz allgemein betrachtet in der Aufhellung von verfärbten Zähnen.

Im Speziellen kann die Zahnfarbe von entwicklungsbedingt bzw. krankheitsbedingt verfärbten Zähnen korrigiert werden. Traumatisch oder iatrogen bedingte Verfärbungen oder die Zähne in ihrer Gesamtheit können aufgehellt werden.

Friese berichtet zum Beispiel von der erfolgreichen Therapie posttraumatisch aufgetretener Verfärbungen bei einer 15-jährigen Schülerin. Die Einlage eines Natriumperborat-H₂O₂-Gemisches in das Pulpakavum zeigte nach 5-7 Tagen seine Wirkung (Friese, 2004). Die Indikation für eine Zahnaufhellung ist häufig die ästhetische Beeinträchtigung eines Patienten durch verfärbte Zähne (Attin und Hickel, 2001; Koch, 2003), wobei Therapie und Kosmetik hier sehr eng beieinanderliegen (Friese, 2004). Medizinische Gründe für eine Bleichtherapie sind dann gegeben, wenn die Farbanomalie bei einem Patienten zu einem psychischen Leidensdruck führt.

Zudem gilt es grundsätzlich abzuwägen, ob die Bleichtherapie der Versorgung durch Kronen oder Veneers vorzuziehen ist. Von Vorteil ist die Tatsache, dass es sich beim Bleichen um ein minimalinvasives Therapiekonzept mit maximaler Schonung der Zahnhartsubstanz handelt. Vor allem bei intakten füllungsfreien, aber verfärbten Zähnen ist die Bleichbehandlung dementsprechend sinnvoll (Attin und Hickel, 2001; Geurtsen und Günay, 1995).

Nach einem Erfahrungsbericht von Friese konnte zum Beispiel bei einer vierzehnjährigen Patientin, die unter einer Dentalfluorose litt, ein langfristig stabiler Therapieerfolg bei der Anwendung des externen Bleichens mit einem 10%igen Carbamidperoxidgel erzielt werden. Die Dokumentation des Zustands acht Jahre nach der Therapie im Vergleich zum Ausgangsergebnis belegte dies (Friese, 2004).

Unter Umständen sind jedoch auch Kronen oder Veneers bei Zahnverfärbungen indiziert. Bei avitalen Zähnen zum Beispiel, die unter die Gruppe der traumatischen bzw. iatrogenen Verfärbungen fallen, spielt der Zerstörungsgrad der klinischen Krone für die Therapiewahl eine wichtige Rolle. Kontraindikationen für das Bleichen aufgrund von Frakturgefahr bestehen etwa bei zu starker Zerstörung der klinischen Krone. Hier muss gegen die Überkronung des Zahnes abgewogen werden. Eher kontraindiziert ist das Bleichen auch bei Zähnen mit Schmelzsprüngen und Infrakturen. Es kann zwar unmittelbar nach der Bleichtherapie ein gutes Ergebnis erzielt werden, dessen Langzeitbestehen allerdings in Frage zu stellen ist, da Risse Farbstoffen und Bakterien aus der Mundhöhle das Eindringen in die Zahnschmelz ermöglichen (Hellwig et al., 2003).

1.4 Ursachen für Zahnverfärbungen

Zahnverfärbungen sind eine Änderung der Farbwahrnehmung des Betrachters gegenüber einer Zahnfarbe aufgrund der Absorption von Licht an ungesättigten Kohlenstoffbindungen der Chromogene (Farberzeuger) (Duschner, 2002).

Grundsätzlich lassen sich in Bezug auf Zahnverfärbungen externe und interne Zahnverfärbungen sowie präeruptive und posteruptive Zahnverfärbungen unterscheiden.

Präeruptive Zahnverfärbungen unterscheiden sich dahingehend von posteruptiven Zahnverfärbungen, dass die Verfärbungen das Dentin oder den Zahnschmelz aller Zähne betreffen. Posteruptive Zahnverfärbungen kommen nur bei einzelnen Zähnen vor (Müller, 2001).

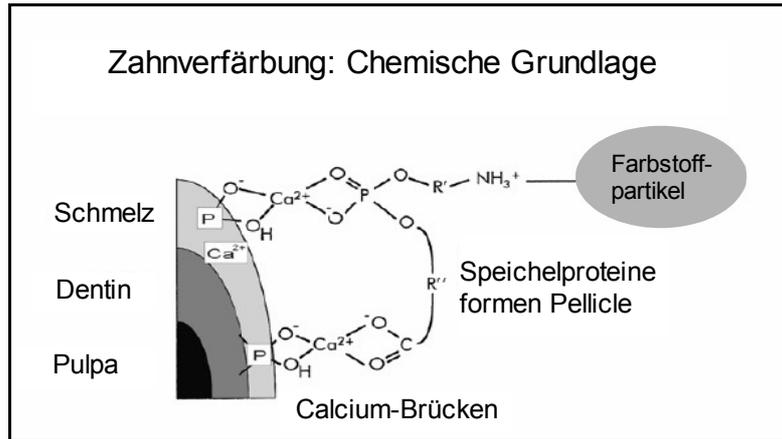


Abb. 3: Anhaftung eines Farbstoffpartikels an der Pelliclestruktur auf der Schmelzoberfläche. Es handelt sich dabei um eine extrinsische Verfärbung des Zahns (modifiziert nach Pascher, 2004).

Unter externen Zahnverfärbungen versteht man Auflagerungen auf der Zahnoberfläche, wie es Abb. 3 aus molekularer Sicht zeigt. Hervorgerufen werden diese vorwiegend durch den Konsum von Lebens- und Genussmitteln wie Tabak, Rotwein, Kaffee, Tee. Sie lagern sich in die Zahnhartsubstanz ein bzw. auf der Zahnhartsubstanz ab (Attin und Hickel, 2001; Duschner, 2002). Auch Korrosionsprodukte, zum Beispiel Amalgame und Medikamente, die eisen- oder nitrathaltig sind, sowie Chlorhexidin können externe Zahnverfärbungen bewirken (Attin, 2001; Attin und Hickel, 2001; Duschner, 2002). Externe Verfärbungen lassen sich häufig im Rahmen einer professionellen Zahnreinigung mit Hilfe von Polierpasten und Pulverstrahlgeräten entfernen (Attin und Hickel, 2001; Duschner, 2002). Bei internen Zahnverfärbungen ist der Zahn mit einer Substanz, die eine Verfärbung auslöst, durchdrungen (Attin und Hickel, 2001). Wenn während der Organogenese (der Zähne) Farbstoffe in unphysiologisch hoher Konzentration einwirken, kommt es zur Ablagerung im bradytrophem Gewebe. Je früher es zu diesen Einflüssen in der Entwicklung eines Zahnes kommt, desto intensiver wird der Zahn verfärbt. Die Verfärbungen können Milchzähne oder bleibende Zähne und das Dentin oder den Zahnschmelz betreffen. Die kritische Phase der Farbstoffablagerungen für die Milchzähne besteht von der 15. bis 24. Schwangerschaftswoche. Für die bleibenden Zähne besteht diese Phase vom dritten Lebensmonat bis zum sechsten Lebensjahr eines Kindes (Attin und Hickel, 2001; Müller, 2001).

Medikamente sind häufig der Grund für interne Zahnverfärbungen. Werden Tetrazykline (präemptiv) in den ersten sechs bis sieben Lebensjahren verabreicht, so lagern sich im Dentin gelbbraune Tetrazyklin-Calcium-Komplexe ab (Abb. 7). Auch bei parenteraler Gabe von Eisenpräparaten im frühen Säuglingsalter kommt es zu Zahnverfärbungen, einer Hä-

mochromatose (präeruptiv), die sich dadurch auszeichnet, dass schwarzgefärbte Eisenkomplexe im bradytropen Gewebe abgelagert werden (Müller, 2001). Eine weitere Gefahrenquelle für Farbeinlagerungen bietet die anhaltende Überdosierung von Fluorid (Fluorose) (Attin und Hickel, 2001). Eine Dentalfluorose (präeruptiv) äußert sich in der Ausbildung kleiner opaker, weißer Streifen oder Schmelzflecken, die meist die zweite Dentition betreffen (Müller, 2001).

Verschiedene genetische Erkrankungen, die mit Strukturanomalien der Zähne einhergehen, können ebenfalls zu Zahnverfärbungen führen. Zahnbildungs- und Mineralisationsstörungen führen zu einer erhöhten Affinität und Anlagerungsnischen von Farbpigmenten (Attin und Hickel, 2001). Die Dentinogenesis imperfecta hereditaria (präeruptiv) ist eine autosomal-rezessiv oder -dominant vererbte genetische Störung, die dazu führt, dass die Dentinkanälchen regellos ausgerichtet werden. Es kommt zu einer Texturstörung mit abnormer Brüchigkeit des Dentins sowohl im Milchgebiss als auch im bleibenden Gebiss. Die Zahnkronen sind opaleszierend, graublau verfärbt. Die Amelogenesis imperfecta (präeruptiv) ist ebenfalls eine genetische Störung, die sich unter anderem in der Färbung der Zähne äußert. Es handelt sich um eine autosomal oder gonosomal vererbte Schmelzreifungsstörung, bei der das Dentin bernsteinfarben durch den Zahnschmelz schimmert. Andere genetische Allgemeinerkrankungen betreffen die Zahnfarbe zum Beispiel aufgrund ihres Einflusses auf die Blutabbauprodukte bzw. das blutbildende System (Müller, 2001; Attin und Hickel, 2001). Die angeborene Agenesie oder Atresie der intra- oder extrahepatischen Gallengänge (präeruptiv) führt zu einem persistierenden mechanischen Ikterus mit Hyperbilirubinämie. Daraus resultieren dunkelgrüne Biliverdin-ablagerungen im Dentin. Auch die neonatale Hepatitis sowie der Morbus haemolyticus neonatorum (präeruptiv) führen sekundär zu einer exzessiven Hyperbilirubinämie mit entsprechenden dunkelgrünen Biliverdinablagerungen im Dentin. Man bezeichnet dies als Chlorodontie (Müller, 2001). Ein weiteres Beispiel für eine solche Erkrankung ist die kongenitale erythropoetische Form der Porphyrie (präeruptiv), eine seltene Störung der Hämsynthese, welche autosomal rezessiv vererbt wird. Aufgrund eines Enzymdefekts wird vermehrt Uroporphyrinogen synthetisiert, welches in den Geweben abgelagert wird. Bezüglich der Zähne führt diese Erkrankung zu einer rotbraunen Dentinverfärbung mit Rotfluoreszenz der Porphyrinkristalle, die im UV-Licht durch den Zahnschmelz schimmern (Müller, 2001).

Weitere Faktoren, die zu internen Zahnverfärbungen führen können, sind periapikale Entzündungen, Traumata von Milchzähnen und Mangelernährung (Vitamine, Calcium, Phosphat) (Attin und Hickel, 2001).

Andere Ursachen für Zahnverfärbungen treten im Rahmen der Endodontie auf (post-eruptiv). Verschiedene Pulpaerkrankungen äußern sich in Zahnverfärbungen. Eine Pulpanekrose zum Beispiel kann an einer dunklen, gelblich-bräunlichen Verfärbung einer Zahnkrone mit Verlust der Transparenz erkennbar sein. Bei internen Resorptionen kann es zu einer rötlichen oder rosafarbenen und umschriebenen Verfärbung kommen (red spot), da Kapillaren im pulpalen Granulationsgewebe durch die ausgedünnte Zahnhartsubstanzschicht sichtbar werden (Koeck, 1993; Schriever, 2001).

Zahnverfärbungen können durch ein schweres Zahntrauma mit intrapulpalen Blutungen oder im Rahmen einer Vitalexstirpation entstehen, indem Blut aus den Pulpengefäßen in die Dentinkanälchen eindringt. Dieses Blut kann zunächst zu einer Rosafärbung der Zahnkrone führen. Beim Abbau der Erythrozyten wird Hämoglobin und darauf Eisen freigesetzt. Verschiedene Blutabbauprodukte, Hämosiderin, Hämin, Hämatoidin und Hämatoporphyrin, können in die Dentintubuli diffundieren, wo sie Eisen als Farbstoff freisetzen. Das Eisen kann Sulfidverbindungen mit von Bakterien freigesetztem Schwefelwasserstoff eingehen, was zur Graufärbung des Dentins führt.

Bei unvollständiger Entfernung der Pulpabestandteile aus dem Pulpakavum im Rahmen der Wurzelkanalbehandlung können die Zerfallstoffe von Proteinen dieser Pulparesten ebenfalls zu Zahnverfärbungen führen.

Eine weitere Möglichkeit der internen Verfärbung bei avitalen Zähnen besteht aufgrund des Wurzelfüllmaterials vor allem bei Belassen von Material in der Kronenpulpa. So kann etwa korrosionsbedingt durch Silberstifte eine Grauschwarzfärbung eines Zahnes hervorgerufen und eine Orange-Rot-Färbung durch einige Wurzelfüllpasten wie N2 oder Endomethasone ausgelöst werden.

Durch einige im Rahmen der Behandlung angewendete Medikamente wie zum Beispiel Ledermix® können Zahnverfärbungen ebenfalls bedingt sein. Diese Verfärbungen treten vor allem dann auf, wenn die Wurzelfüllmaterialien oder Medikamente im Pulpakavum verbleiben und das Dentin durch die Dentintubuli penetrieren (Attin, 2001; Attin und Hickel, 2001; Hellwig et al., 2003; Schriever, 2001).

In verschiedenen Studien wurde festgestellt, dass die Zähne nach einer Aufhellungstherapie häufig nachdunkeln und das zunächst erreichte Ergebnis nicht erhalten bleibt. Man vermutet, dass in solchen Fällen undichte Füllungen die Diffusion von Farbstoffen und die Penetration von Bakterien begünstigen (Attin et al., 2002).

Zu Zahnverfärbungen (posteruptiv) führen häufig auch Bakterien aufgrund mangelnder Mundhygiene sowie kariös bedingte Schädigungen von Zahnschmelz und Dentin (Müller,

2001). Die chronische Karies führt vor allem im Fissurenrelief, im Bereich der Approximarräume sowie im Zahnhalsbereich zu dunkelbraunen Verfärbungen. Weißlich opake Verfärbungen der Randleisten können ebenfalls auf eine Approximalkaries hindeuten (Koeck, 1993).

Eine physiologische Form der Zahnverfärbung beruht auf der Alterung der Zähne (post-ruptiv). Durch Abrasion, Attrition und Erosion wird die Schmelzschicht zunehmend dünner, sodass das gelbliche Dentin entsprechend ausschlaggebender für die Zahnfarbe wird. Diese Entwicklung wird durch die Apposition von Sekundär- oder Tertiärdentin im Pulpakavum zusätzlich unterstützt (Geurtsen und Günay, 1995).

1.5 Wirkweisen der Bleichmittel

Der Wirkmechanismus einer Bleichreaktion wird in Abb. 4 grob dargestellt. Die in der Zahnhartsubstanz vorhandenen Farbstoffe werden durch den Kontakt mit Peroxiden in farblose Fragmente aufgespalten.

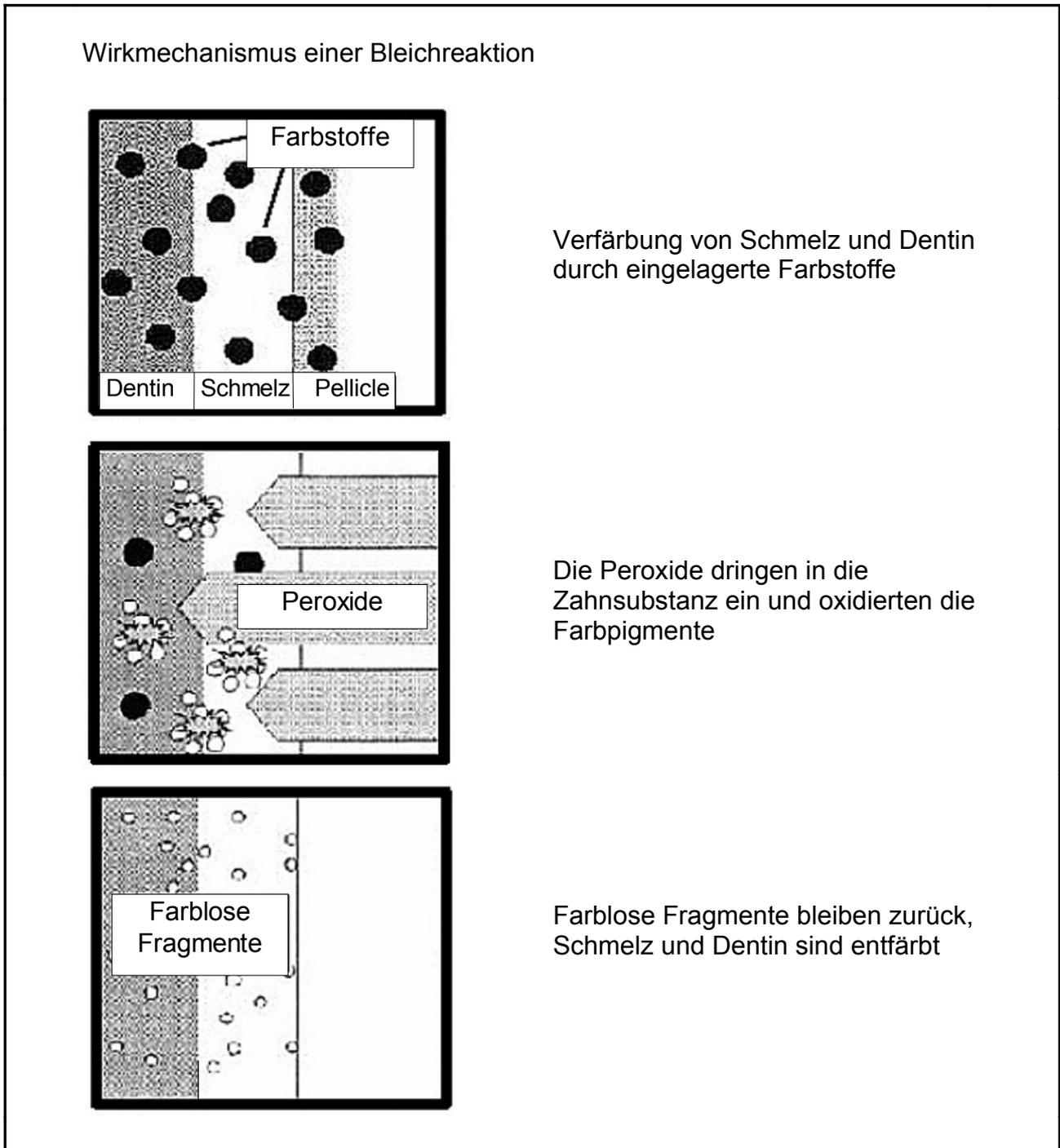


Abb. 4: Bildliche Darstellung des Wirkmechanismus einer Bleichreaktion in drei Stufen. Die in Dentin und Schmelz der Zahnhartsubstanz eingelagerten Farbstoffe werden durch Peroxide oxidiert. Es bleiben farblose Fragmente der Farbstoffe zurück. Schmelz und Dentin sind entfärbt (modifiziert nach Pascher, 2004).

Wie bereits in 1.4 erwähnt, begründet sich die Farbveränderung der Zahnhartsubstanz aus molekularer Sicht in ungesättigten Kohlenstoffbindungen der Chromogene (Duschner, 2002). Die Chromogene haben die Eigenschaft, Licht zu absorbieren, und erzielen damit eine farbgebende Wirkung (Lips, 2004).

Die C-C-Doppelbindungen der Chromogene sind durch Peroxidverbindungen leicht angreifbar und reagieren durch Zerfall oder Oxidation. Dabei entstehen beispielsweise Alkohole, Carboxylsäuren und unter Extrembedingungen gelegentlich auch Kohlendioxid und Wasser (Duschner, 2002). Durch Anlagerung von Sauerstoffradikalen brechen die Doppelbindungen unter kurzzeitiger Epoxidbildung (das Epoxid reagiert mit dem zuvor entstandenen Wassermolekül zum Diol weiter) auf, wobei teilweise sogar der Farbstoff selber in kleinere lösliche Moleküle gespalten wird. Licht kann daraufhin ungehindert die Zahnhartsubstanz durchdringen bzw. reflektiert werden. Das erweckt das Bild strahlend weißer Zähne (Lips, 2004).

Abb. 5 zeigt die beschriebene Abfolge des Bleichvorgangs aus molekularer Sicht. Ein Farbpigment, das sich durch Doppelbindungen auszeichnet, wird durch deren Aufspaltung unter Zutritt von Wasserstoffperoxid zu einem farblosen Rest. Der Punkt, an dem alle Verfärbungen vollständig gebleicht sind, wird als Saturation-Point bezeichnet. Tritt die Zahnsubstanz daraufhin weiter mit Wasserstoffperoxid in Kontakt, kommt es zu einer Überbleichung und zu einem Zerfall der Schmelzmatrix. Chronisches Bleichen kann bis zur vollständigen Oxidation, das heißt zum Zerfall in Kohlendioxid und Wasser führen (Pascher, 2004; Duschner, 2002).

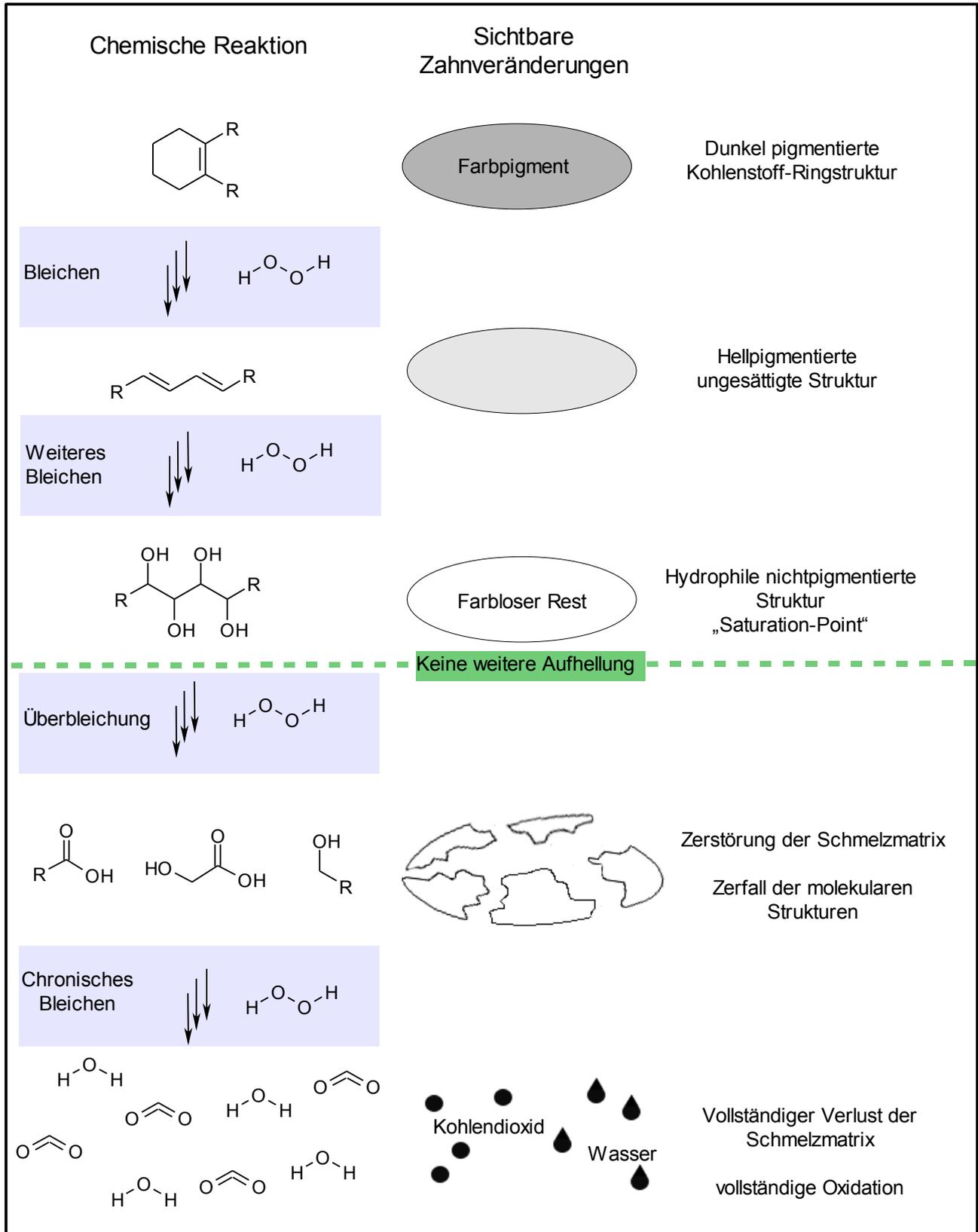


Abb. 5: Molekulare Darstellung eines Bleichvorgangs. Die farbgebenden Doppelbindungen werden beim Bleichvorgang durch H₂O₂ aufgespalten. Aus dem ursprünglichen Farbpigment entsteht ein farblos-er Rest. Bei weiterer H₂O₂-Einwirkung kann es zum Überbleichen bis hin zum vollständigen Verlust der Schmelzmatrix kommen (modifiziert nach Pascher, 2004).

In Bleichmitteln sind Peroxidverbindungen wie Wasserstoffperoxid und Natriumperborat, häufig auch beide in Kombination, enthalten (Hellwig et al., 2003; Attin und Hickel, 2001). Wasserstoffperoxid ist besonders wirkungsvoll, auch weil es ein sehr kleines Molekül ist, welches leicht in tiefere Schichten des Zahnes vordringen kann (Lips, 2004; Kielbassa und Zantner, 2001; Abb.6).

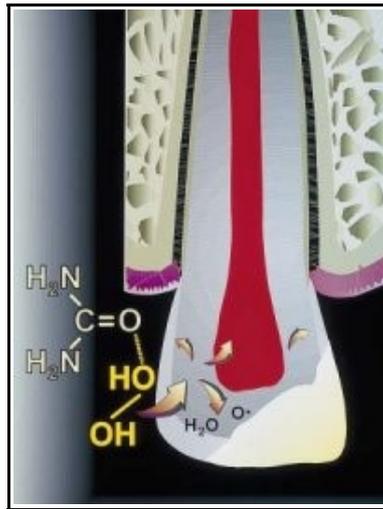


Abb. 6: Darstellung der Wirkung eines Bleichmittels auf Carbamidperoxid-Basis. Das abgespaltene H_2O_2 dringt in die Zahnhartsubstanzen (Schmelz und Dentin), zu einem geringen Teil auch in die Pulpa ein und entfaltet dort seine bleichende Wirkung (Kielbassa und Zantner, 2001).

Carbamidperoxid, welches in 10-15%iger Form als Gel beim externen Bleichen angewendet wird, zerfällt unter Aufnahme von Wasser im Verhältnis 7:3 in Harnstoff und H_2O_2 (Hellwig et al., 2003; Attin und Hickel, 2001; Peters, 2005). Es wirkt auf die gleiche Weise wie H_2O_2 , weil es dessen Vorstufe ist (Lips, 2004). Da dem Zahn bei der Zerfallsreaktion des Carbamidperoxids Wasser entzogen wird, führt dessen Anwendung in direkter Folge zu einer helleren Zahnfarbe. Der Effekt, der auf den Wasserentzug des Zahns zurückzuführen ist, wird nach Behandlungsabschluss wieder ausgeglichen, indem der Zahn das entzogene Wasser wieder aufnimmt (Peters, 2005). Der Vorteil ist allerdings, dass der Zerfall in Harnstoff und den Wirkstoff erst nach einiger Zeit erfolgt, sodass die Reaktion auf die Zahnhartsubstanz weniger aggressiv und die Wirkdauer verlängert ist. Das entstehende H_2O_2 erreicht nach einer Faustregel eine Konzentration, die 1/3 der Ausgangskonzentration des Carbamidperoxid beträgt.

Ein weniger bedeutsames Bleichmittel ist Natriumchlorit, welches in saurem Milieu geringe Mengen des starken Oxidationsmittels Chlordioxid abgibt.

Substanzen, die neben diesen genannten in Bleichmitteln enthalten sein können, sind z. B. Titanoxid, welches kurzzeitig eingelagert wird und über diesen Zeitraum aufhellend wirkt (Lips, 2004). Außerdem werden die Peroxide nicht als Reinsubstanzen, sondern in einer Gel Matrix (polyanionische Trägermaterialien, teilweise in saurem Milieu appliziert) für Aufhellungsverfahren angewendet (Duschner, 2002). Zusatzstoffe wie Fluoride oder Kaliumnitrat wirken desensibilisierend und verhindern Überempfindlichkeitsreaktionen auf hohe Peroxidkonzentrationen (Lips, 2004).

Bei energieassistierten Aufhellungsverfahren, dem thermokatalytischen Bleichen oder Laserbleichen, bewirkt die Energiezufuhr in Kombination mit dem verwendeten H_2O_2 eine beschleunigte Bildung freier Sauerstoffradikale. Die Oxidationsreaktion der Chromogene durch das H_2O_2 wird katalysiert. H_2O_2 wird in Wasser und freie Sauerstoffradikale aufgespalten und die freien Radikale binden an Chromogene, sodass die farbgebenden Doppelbindungen aufgespalten und in Einfachbindungen umgewandelt werden. Der verfärbende Effekt der Doppelbindungen ist entfernt (Garber, 1997; Sun, 2000).

Zähne älterer Patienten und solche mit einem geringeren Gelbanteil reagieren dabei schlechter auf Aufhellungstherapien als Zähne jüngerer Patienten mit einem hohen Gelbanteil (Attin et al., 2002).

Neben H_2O_2 sind Natriumperborat und Carbamidperoxid als H_2O_2 -abspaltende Substanzen gängige Wirkstoffe in Bleichmitteln. Abb. 6 zeigt im linken Teil exemplarische Zerfallsreaktionen von Natriumperborat und Carbamidperoxid, die zur Freisetzung von H_2O_2 führen. Dies kann bspw. mit im Dentin eingelagerten Tetrazyklinen reagieren und führt letztlich zu farblosen Verbindungen (Abb. 7, rechter Teil). Hierbei wird zunächst eine Doppelbindung des Phenolrings A des Tetrazyklin **1** in ein Epoxid **2** überführt, das nachfolgend durch das dabei entstehende Wasser nukleophil zu einem vicinalen Diol **3** geöffnet wird. Durch erneute Oxidation kann **3** in das korrespondierende Diketon **4** umgewandelt werden, das abschließend oxidativ unter Spaltung der C-C-Bindung zum Bisaldehyd **5** umgesetzt wird. Der Verlust des pi-Systems führt zur Farblosigkeit der beim Bleichen erhaltenen Reaktionsprodukte.

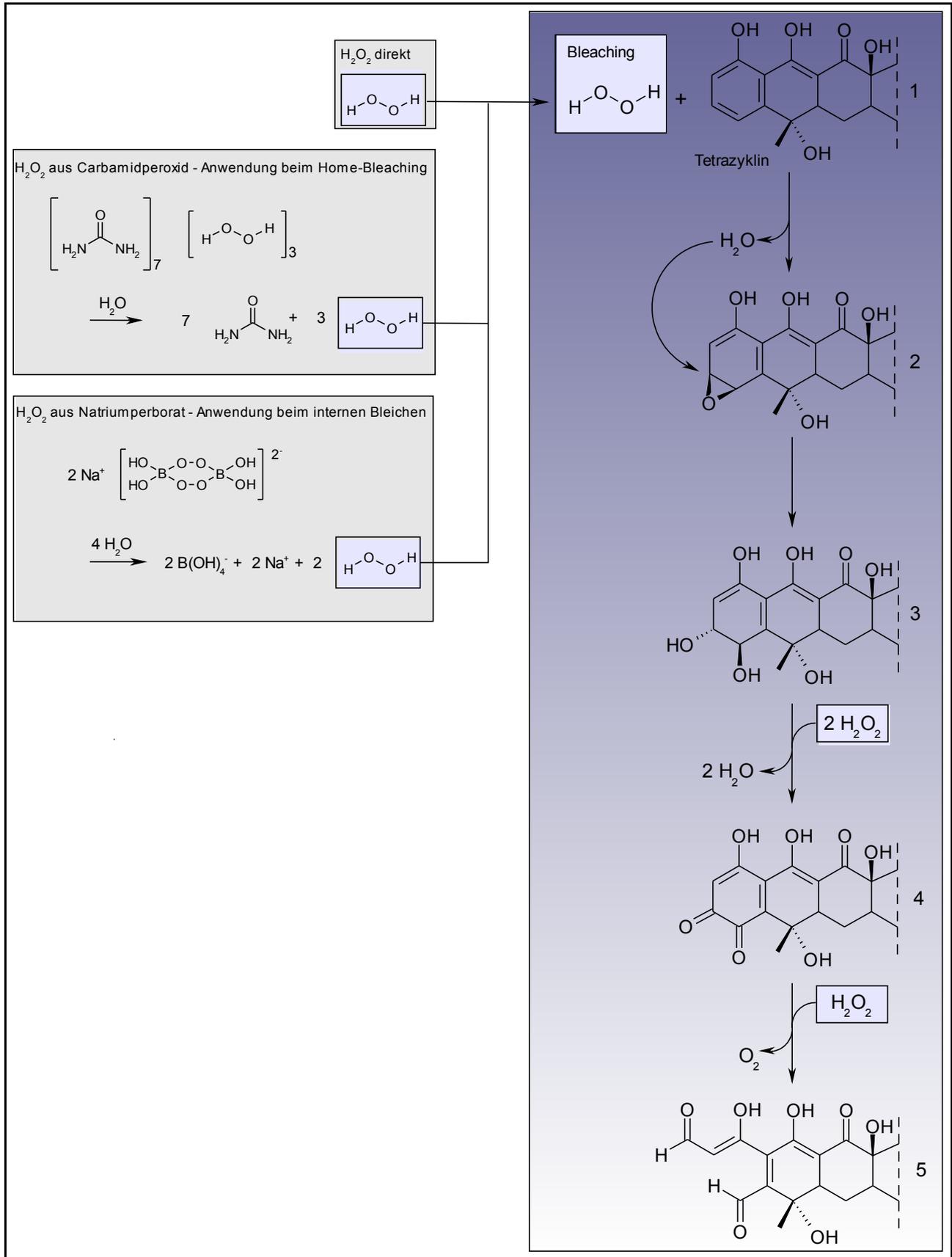


Abb. 7: Molekulare Darstellung einer Bleichreaktion am Beispiel von Tetrazyklin. Durch die Wirkung von H₂O₂, welches beim Bleichen aus verschiedenen Vorstufen wie Natriumperborat bzw. Carbamidperoxid oder direkt gegeben ist, kommt es zur Aufspaltung farbgebender Doppelbindungen.

1.6 Nebenwirkungen der Bleichmittel

Im Zusammenhang mit Nebenwirkungen, die durch Bleichmittel ausgelöst werden, ist in der Mundhöhle all das zu betrachten, was mit dem Bleichmittel in Kontakt tritt.

Neben den vitalen Geweben der Mundhöhle – Zahnhartsubstanz, Pulpa und Gingiva – und deren Reaktionen auf verschiedene Bleichsysteme stehen auch die dentalen Restaurationen und deren Verhalten nach Bleichmitteleinwirkung unter wissenschaftlicher Beobachtung. Denn beides stellt laut Duschner das Substrat des Bleichvorgangs dar (Duschner, 2002).

1.6.1 Veränderungen der Zahnhartsubstanz

Im Rahmen der Reaktionsmechanismen von Peroxiden wird die mineralische Komponente der Zahnhartsubstanz – das Hydroxylapatit – nicht im Sinne einer Demineralisation oder Ätzung geschädigt. Laut Duschner sind die Peroxide (Wasserstoff-Peroxid und Carbamid-Peroxid) gegenüber Hydroxylapatit weitgehend inert, wie eine Vielzahl veröffentlichter Literatur bestätigt (Duschner, 2002). Auch Peters betont, dass sowohl H_2O_2 als auch Carbamidperoxid weder im Licht- noch im konfokalen Laser-Scanning-Mikroskop einen Substanzverlust oder eine Strukturveränderung von Schmelz oder Dentin, weder des koronaren Dentins noch des Wurzeldentins, zeigen (Peters, 2005).

Neben den Peroxiden treten bei den Bleichprodukten allerdings auch weitere Substanzen mit der Zahnhartsubstanz in Kontakt, da die Peroxide nicht in reiner Form aufgebracht werden. In diesem Zusammenhang sind Zusatzstoffe und Trägermaterialien wie Gele und pH-Puffersubstanzen zu betonen (Duschner, 2002).

Die zusätzlichen Bestandteile verschiedener Bleichpräparate und die Gele teilweise niedrigen pH-Wertes führen zu einer möglichen oberflächlichen Verringerung der Zahnhartsubstanzhärte. Die Oxidation des H_2O_2 zum Beispiel könnte zu einem pH-Abfall der Trägersubstanz (thixotrope Gele auf Grundlage von Polycarbonat-Polymeren) führen (Duschner, 2002). Diese Problematik kann durch Anwendung eines pH-neutralen Gels vermieden werden (Peters, 2005).

Zumeist wurde in den diversen Studien zur Untersuchung der Wirkung von Bleichprodukten auf die Zahnhartsubstanz mit Hilfe der Rasterelektronenmikroskopie oder durch Bestimmungen der Mikrohärtigkeit keine aufrauende Wirkung festgestellt. Nur wenige Studien stellten eine Schmelzdemineralisation bei Anwendung von 35%igem Carbamidperoxid bzw. ein erhöhtes Abrasivverhalten von gebleichtem Schmelz fest. Allerdings sei hier laut Duschner kritisch zu bemerken, dass diese Schäden mit der Wirkung saurer Erfrischungs-

getränke vergleichbar sind (Duschner 2002). In einer In-vitro-Studie konnte eine Abhängigkeit der Zahnbürstenabrasion vom pH-Wert des Bleichmittels sowie der Wasserstoffperoxidkonzentration und der Bleichdauer festgestellt werden (Koch, 2003).

Attin fand in einer Studie heraus, dass eine leichte Abnahme der Oberflächenhärte der Zahnhartsubstanz durch Fluoridierung, welche Wiedererhärtung und Remineralisation bewirkt, aufgehoben werden kann (Duschner, 2002). Bleichmittel wie Rapid White[®], welche auf Natriumchlorit-Basis arbeiten, sind bezüglich der Zahnhartsubstanz bedenklich, da diese Systeme mit sehr niedrigen pH-Werten arbeiten, was zu erhöhter Abrasion und einer Abnahme der Frakturstabilität führt (Lips, 2004).

Die Anwendung von 30%iger H₂O₂-Lösung, welche im Rahmen des internen Bleichens auf 37°C bzw. 50°C erwärmt wird, führt laut Attin in beiden Fällen zu einer Abnahme der Mikrohärtigkeit von Zahnschmelz und Dentin, während beim Bleichen mit einer Mischung aus Natriumperborat und 30% H₂O₂ kein Einfluss auf die Härte der Zahnhartsubstanzen festgestellt werden kann. Vermutlich ist die Veränderung der Mikrohärtigkeit auf einen Angriff der Bleichsubstanzen gegen die anorganischen Komponenten der Zahnhartsubstanz und auf eine Denaturierung des Kollagens zurückzuführen.

Veränderungen des Aufbaus der anorganischen Komponente der Zahnhartsubstanz gehen immer mit Verschiebungen der Calcium-Phosphat-Relation im Apatit einher.

Die Anwendung von 30% H₂O₂ führt laut einer Studie von Rotstein et al. zu einer signifikanten Reduktion des Calcium-Phosphat-Verhältnisses aller Zahnhartsubstanzen (Attin, 2001).

Durch chemische Analysen wurde festgestellt, dass bestimmte Carbamidperoxid-Gele zu einem Herauslösen von Calcium und einer teilweisen Umwandlung des Hydroxylapatits zu Calciumorthophosphat führen können (Attin et al., 2002).

Zervikale Resorptionen können als Spät komplikationen nach intrakoronarer Aufhellungstherapie auftreten. Der Grund für diese Resorptionen ist nicht vollständig geklärt und es gibt verschiedene Theorien für deren Ätiologie. Die Diffusion von H₂O₂ durch das Dentin ist offensichtlich der ausschlaggebende Faktor für zervikale Resorptionen. Denn zervikale Resorptionen treten fast ausschließlich bei Bleichsystemen, die sich der Hitze einwirkung bedienen sowie bei jugendlichen Zähnen auf. In beiden Fällen sind die Dentinkanälchen erweitert, bedingt durch thermische Expansion bzw. durch die Anatomie. Das führt zu einer stärkeren Penetration von H₂O₂ durch das Dentin.

Dass die Resorptionen ausschließlich im Zahnhalsbereich vorkommen, lässt sich auf die besonderen morphologischen Eigenschaften des Zahnes im Bereich der Schmelz-Zement-Grenze und auch auf Defekte in diesem Bereich zurückführen.

Ein erster Denkansatz zur Erklärung der zervikalen Resorptionen besagt, dass es aufgrund des H_2O_2 zu einer Denaturierung des Dentins im Bereich des Zahnhalses kommt, was eine Fremdkörperreaktion hervorruft. Andere Wissenschaftler nehmen an, dass das H_2O_2 zu einer Irritation des Parodonts führt. Das soll die Bakterienkolonisation der eröffneten Dentintubuli bewirken, worauf eine Entzündung des angrenzenden Gewebes externe Resorptionen auslöst. Eine dritte Theorie besagt, dass das H_2O_2 im Parodont aufgrund des niedrigen pH-Werts bei hohen Konzentrationen oder aufgrund der aus dem H_2O_2 entstehenden Radikale einen inflammatorisch resorptiven Prozess auslöst (Attin, 2001; Attin et al., 2002; Geurtsen und Günay, 1995; Hellwig et al., 2003).

1.6.2 Zunahme der Frakturanfälligkeit

In einigen Studien wurde festgestellt, dass Carbamidperoxid die Frakturanfälligkeit des Zahnschmelzes erhöhen kann. Allerdings führt die Walking-Bleach-Technik im Dentin nicht zu einer Versprödung und erhöhten Frakturanfälligkeit. Trotzdem sind devitale Zähne fraktur anfällig, was im Rahmen einer gewünschten Aufhellung jedoch darauf zurückzuführen ist, dass der Zahn durch die Entfernung von verfärbtem Dentin geschwächt wird. Um eine erhöhte Frakturanfälligkeit möglichst zu vermeiden, sollte verfärbtes Dentin nur unter größtmöglicher Schonung der Zahnhartsubstanz entfernt werden.

Hauptursachen für eine erhöhte Frakturgefahr devitaler Zähne liegen in der fehlenden intrapulpalen Versorgung, der Schwächung der Dentinschicht durch die Aufbereitung sowie in Zahnhartsubstanzdefekten aufgrund von Exkavation und in der Trepanationsöffnung (Attin, 2001; Attin und Hickel, 2001). Um Frakturen zu vermeiden, muss vor der Wahl der Bleichtherapie eine genaue Differenzierung erfolgen, ob eine stiftverankerte Krone dieser Therapieform vorzuziehen ist (Geurtsen und Günay, 1995). Laut Attin et al. sollte bei intrakoronalen Aufhellungsmaßnahmen eine ausreichende Stärke stabiler Zahnhartsubstanz vorliegen, denn während der Therapiephase besteht eine erhöhte Frakturgefahr dieser Zähne. Das liegt daran, dass während der Bleichbehandlung mit Einlage eines Bleichmittels in den Zahn die provisorische Füllung nicht adhäsiv an Dentin und Schmelz verankert werden kann (Attin et al., 2002). Laut Duschner konnten erhöhte Frakturindices, die in einer Studie festgestellt wurden, in vergleichbaren Studien nicht bestätigt werden (Duschner, 2002).

Erst bei einer Einwirkdauer von acht Stunden täglich konnte eine deutlich verminderte Bruchfestigkeit bei Rinderschmelz festgestellt werden (Koch, 2003).

1.6.3 Postoperative Sensibilitätsstörungen

Eine Nebenwirkung, die auftreten kann, ist zum Beispiel eine temporäre Hypersensibilität des Dentins (Duschner, 2002).

Bei 55% der Anwender eines zehnpromigen Carbamidperoxid-Gels traten Zahnüberempfindlichkeiten auf, die allerdings ausnahmslos nach Absetzen der Therapie verschwanden (Attin und Burgmaier et al., 2001). Im Allgemeinen tritt laut Attin die Hypersensibilität als Nebenwirkung beim externen Bleichen vor allem mit der Dauer der Anwendung in Beziehung. Da die Konzentration von Carbamidperoxid und H_2O_2 ohnehin nach ein bis zwei Stunden in den Schienen stark abfällt (nach einer Stunde Tragedauer auf 70%, nach zwei Stunden Tragedauer auf 50%) kann die Bleichdauer auf einmal täglich eine Stunde reduziert werden. Bei mehrmals täglicher Anwendung (bei gleicher Gesamtzeit wie bei einmaliger Anwendung) mit jeweils frisch eingebrachtem Gel kommt es zu einem größeren Reiz mit einer höheren Wahrscheinlichkeit auftretender Hypersensibilitäten (Attin und Burgmaier et al., 2001; Koch, 2003).

Die ab und zu beobachtete Hypersensibilität nach Bleichbehandlungen ist offensichtlich darauf zurückzuführen, dass bei einigen Systemen die oberflächliche Schmierschicht des Zahnes nicht erhalten bleibt. Bei verschiedenen Systemen wurde allerdings auch ein Erhalt der Schmierschicht (smear-layer) beobachtet, wie etwa bei den blend-a-med White-stripsTM (Duschner, 2002).

Nach verschiedenen Untersuchungen kann Wasserstoffperoxid eindeutig durch das Dentin in die Pulpa gelangen und zwar umso mehr, je höher die Viskosität des Gels ist, sodass die Vermutung nahe liegt, dass Bleichmittel bei vitaler Anwendung Pulpairritationen hervorrufen können. Jedoch ist die Konzentration dort so gering, dass es aufgrund dessen nicht zur Pulpaschädigung, etwa durch Schädigung der Pulpaenzyme, kommen kann. Dies erklärt auch die gute Pulpaverträglichkeit, die in klinischen Studien bewiesen wurde. In erster Linie treten Pulpaschädigungen im Zusammenhang mit Wärmeeinwirkung bei lichtassistierten Aufhellungssystemen auf (Attin und Burgmaier et al., 2001; Duschner, 2002). Transiente Zahnüberempfindlichkeiten und eine reduzierte Oberflächenhärte der Zahnhartsubstanz traten nur vorübergehend auf oder waren durch Politur/Fluoridierung zu beheben (Peters, 2005).

Mit Zahnüberempfindlichkeiten ist vor allem beim lichtassistierten Bleichen zu rechnen (Powerbleaching), da es hier zu einer Erhöhung der Pulpatemperatur um 5° bis 8° Celsius kommen kann. Diese Temperaturerhöhung führt zu Enzyminhibition, womit Entzündungszeichen und vermehrte Überempfindlichkeiten einhergehen. Solche Überempfindlichkeiten sind zwar reversibel, können aber durch Meiden solcher Systeme umgangen werden. Laut Attin sollte man das externe Bleichen mit Schienen diesem lichtassistierten Verfahren vorziehen (Attin et al., 2002; Koch, 2003). Zudem ist die systemische Peroxidbelastung sowie die Wirkung der Peroxide auf die Pulpa von Bedeutung (Duschner, 2002).

1.6.4 Irritation der Schleimhaut

Bei Carbamidperoxidgelen wurden Schleimhautirritationen meist durch schlecht passende Medikamententräger beklagt (Attin und Hickel, 2001; Geurtsen und Günay, 1995). Vor allem bei empfindlichen Personen treten gelegentlich Mundschleimhautreaktion auf (Lips, 2004; Peters, 2005). Nebenwirkungen, die auftreten können, sind zum Beispiel Gingivairritationen (Duschner, 2002). Bei 55% der Anwender eines zehnpromzentigen Carbamidperoxidgels traten Zahnüberempfindlichkeiten oder Gingivairritationen auf, die allerdings ausnahmslos nach Absetzen der Therapie verschwanden (Attin und Burgmaier et al., 2001).

1.6.5 Veränderungen von Restaurationen

In Bezug auf Zahnersatz wurde festgestellt, dass die Peroxideinwirkung keine Beeinflussung der Farbe der Restaurationen hervorruft. Gelegentlich konnte ein Aufhellungseffekt von Kompositfüllungen festgestellt werden, wobei dieser Effekt jedoch nur durch digitale Farbbestimmung nachweisbar war (Duschner, 2002). Möglicherweise können solche Farbveränderungen von Füllungen auch auf in Füllmassen eingelagerte Farbstoffe zurückgeführt werden, die sich durch Bleichmittel durchaus entfärben lassen (Peters, 2005). Provisorische Füllungen, Kronen- und Brückenmaterialien auf Methacrylatbasis verfärben sich unter Kontakt mit Peroxiden leuchtend orange oder neigen zu Gelblichfärbung (Duschner, 2002; Attin und Burgmaier et al., 2001). Provisorien auf Polycarboxylat- und Bisacrylbasis werden durch Berührung mit Peroxiden nicht verändert. Problematisch ist die Tatsache, dass Füllungsmaterialien der Farbveränderung der Zahnhartsubstanz durch Peroxide nicht folgen, sodass mögliche Füllungen im Frontzahnbereich oder eventuelle Veneers nach einer Bleichbehandlung hervorstechen und nicht mehr zum Erscheinungsbild der natürlichen Zähne passen. Komposite zeigen geringfügige Ätzdefekte und eine ebenfalls geringfügige Abnahme der Härte des Materials nach dem Aufhellungsverfahren. Glasionomere

bleiben ebenfalls weitgehend unbeeinträchtigt (Attin und Burgmaier et al., 2001; Duschner, 2002).

Einflüsse auf die Adhäsivkraft bei Neueingliederung von Restaurationen zeigen sich dahingehend, dass die Adhäsivkraft von Restaurationen direkt nach der Zahnaufhellung zunächst reduziert ist. Durch eine Wartezeit von ein bis zwei Wochen bzw. die Behandlung der entsprechenden Oberflächen mit dehydratisierenden Chemikalien, wie etwa Azeton, wird dieser unerwünschte Effekt eliminiert (Duschner, 2002; Geurtsen und Günay, 1995).

An gebleichtem Schmelz wird eine vorübergehend verschlechterte Haftung von Kompositrestaurationen beobachtet. Eine Zugangskavität sollte dementsprechend beim internen Bleichen erst drei Wochen nach Abschluss der Behandlung erfolgen und auch Klasse-V-Kavitäten sollten erst nach eben dieser Wartezeit verschlossen werden. Wird nach Beendigung der Aufhellungsmaßnahme eine Calciumhydroxidsuspension eingebracht, so wird die Dichtigkeit der adhäsiven Versorgung der Zugangskavität wieder gewährleistet (Attin, 2002). Die verminderte Schmelzhaftung, vor Calcium bei Verwendung von azetonbasierten Haftvermittlern, ist darauf zurückzuführen, dass es bei der Bleichtherapie zu einer Veränderung der Zusammensetzung des Schmelzes und dessen organischer und anorganischer Komponenten kommt. In verschiedenen Studien besteht Uneinigkeit darüber, ob eine Bleichtherapie zu einer Verringerung oder Erhöhung des relativen Gehalts an Calcium und Phosphor im Schmelz kommt (Attin und Burgmaier et al., 2001).

Die Einbeziehung von bestehenden Restaurationen in den Bleichprozess führt zu einer leichten Abnahme der Bondstärke (Attin und Burgmaier et al., 2001; Duschner, 2002).

Bezüglich der Oberflächenstruktur und der Mikrohärtigkeit haben Peroxide keinen Einfluss auf Keramik und Goldlegierungen (Duschner, 2002; Peters, 2005).

Chemische Wechselwirkungen mit Peroxiden treten in Verbindung mit Amalgamen auf. Es zeigt sich eine erhöhte oxidative Reaktivität mit der Folge oberflächlicher Flecken und Farbveränderungen sowie eine erhöhte Freisetzung von Quecksilber in die Gasphase. Die Quecksilberabgabe aus Amalgamfüllungen kann durch deren Versiegelung mit einem Lack (Copalite®) deutlich reduziert werden (Attin und Burgmaier et al., 2001; Duschner, 2002). Laut Peters reagiert Amalgam mit einer Dunkelfärbung auf Peroxideinfluss, wobei die Füllungen allerdings sogar härter werden (Peters, 2005). Außerdem sind Veränderungen der Adhäsivkraft gegenüber Restaurationen möglich (Duschner, 2002).

1.6.6 Systemische Auswirkungen

Bei der Anwendung von Carbamidperoxid für Bleichmaßnahmen werden im Speichel verschiedene Mengen an Peroxiden freigesetzt. Hannig et al. fanden in einer Studie heraus, dass bei der Anwendung eines Foliensystems (Whitestrips®) während 30 Minuten $2,3 \pm 1,54$ mg Peroxide im Speichel nachweisbar sind und dass die freigesetzte Menge bei der 30-minütigen Anwendung eines Schienensystems (Vivastyle®) bei $0,7 \pm 0,18$ mg liegt (Hannig et al., 2002). Neben dem H_2O_2 an sich liegen je nach pH-Wert, Temperatur, metallischen Reaktionspartnern und Ko-Katalysatoren auch dessen Zerfallsprodukte vor. Dabei handelt es sich um verschiedene Radikale. Grundsätzlich können freie Radikale oxidative Veränderungen an Lipiden, Proteinen und Nucleinsäuren auslösen (Attin, 2001). Bei sachgemäßer Anwendung besteht keine nennenswerte Gefahr der toxikologischen oder kanzerogenen Wirkung der Bleichgele aufgrund deren systemischer bzw. lokaler Wirkung. Individuelle Medikamententräger sollen das Verschlucken von Bleichgel weitestgehend verhindern. Dabei liegt ein Sicherheitsfaktor von über 100 zur eventuell verschluckten Menge vor (Attin, 2001; Attin und Hickel, 2001). Außerdem enthält der Speichel Enzyme, die schnell zum Abbau von H_2O_2 führen (Peters, 2005). Zum Schutz vor oxidativen Reagenzien verfügt der Körper über verschiedene regulative Mechanismen. Dazu gehören Peroxidasen in Speichel und Plasma, die Glutathionperoxidase, Katalasen oder auch der Glutathion-Redox-Zyklus (Attin, 2001).

Eine retrospektive Kasuistik aus einer amerikanischen Klinik berichtet, dass zwei von 19 Patienten, bei denen ein oraler Tumor entdeckt worden ist, einige Zeit zuvor ein kommerzielles Bleichmittel verwendet haben. Dagegen wurde in anderen Untersuchungen festgestellt, dass die Anwendung von Wasserstoffperoxid zur Aufhellung der Zahnfarbe bei der üblichen kurzzeitigen Benutzung weder karzinogen noch tumorfördernd ist (Peters, 2005). Bei verschiedenen in Drogeriemärkten frei verkäuflichen Foliensystemen besteht laut Duschner die Problematik der mangelnden Passform, was Risiken bezüglich einer erhöhten Peroxidexposition der Mundhöhle birgt (Duschner, 2002)

1.6.7 Mikrobielle Besiedlung und Bleichen

Wie eine Studie ergab, ist die Adhärenz oraler Mikroorganismen auf gebleichten Komposit- sowie Schmelzoberflächen erhöht. Entsprechend erhöhte Adhärenz zeigen *Streptococcus mutans* und *Streptococcus sobrinus*. Es konnte ausgeschlossen werden, dass der Grund dafür eine erhöhte Oberflächenrauigkeit des Schmelzes ist. Die Adhäsion von *Actinomyces viscosus* am Schmelz war nach Aufhellungstherapie verringert. Offensichtlich

hängt dies mit der Ausbildung des Speichel-Biofilms auf den gebleichten Oberflächen zusammen (Attin und Burgmaier et al., 2001).

1.7 Bleichsysteme

1.7.1 Internes Bleichen



Abb. 8: Darstellung des internen Bleichens mit Wasserstoffsperoxyd und Natriumperborat unter Kofferdam nach einer Teilrevision der Wurzelfüllung bis zwei Millimeter subgingival und Legen einer dichten Abdeckfüllung aus Glasionomermaterial (Stappert, 2000).

Das interne Bleichen (Abb. 8) ist ein Verfahren, das ausschließlich in der zahnärztlichen Praxis Anwendung findet und voraussetzt, dass der zu bleichende Zahn avital und diskoloriert ist.

Man unterscheidet vier verschiedene Arten des internen Bleichens:

- Die thermokatalytische Methode (30% H_2O_2 als wässrige Lösung – Superoxol / 25% H_2O_2 in Äther – Pyrazon)
- Langzeitbleichen bzw. das Walking-Bleach-Verfahren (Natriumperborat und Wasser)
- Die Kombination der beiden erstgenannten Methoden
- Inside-outside-Technik (10 % Carbamidperoxid)

Eine Möglichkeit des internen Bleichens besteht in der Anwendung der thermokatalytischen Aufhellungstechnik. Bei dieser Behandlungsform wird als Bleichmittel 30% H_2O_2 als wässrige Lösung (Superoxol) oder 25% H_2O_2 in Äther (Pyrazon) in das koronale Pul-

pakavum appliziert und dort mit Hilfe einer UV- oder Infrarotlampe erwärmt. Die Wärme soll die chemische Reaktion des Bleichmittels beschleunigen. Der Vorteil dieser Technik ist das zeitnahe Erzielen eines Bleicheffektes auf dem entsprechenden Zahn, häufig schon in der ersten Sitzung. Es besteht allerdings eine erhöhte Gefahr der externen Resorptionen und der Bildung von chemischen Radikalen, sodass diese Technik nur noch selten Anwendung findet. Zervikale Resorptionen kommen im Allgemeinen vermehrt bei Verwendung von hoch konzentriertem 30%igem H_2O_2 vor. Deshalb sollte eine derart hohe Konzentration grundsätzlich nicht intrakoronar eingebracht werden (Attin und Hickel, 2001; Geurtsen und Günay, 1995; Hellwig et al., 2003; Schrieffer, 2001).

Eine Alternative ist die heute aufgrund ihrer hohen Erfolgswahrscheinlichkeit empfohlene Walking-Bleach-Technik. Dabei wird oberhalb der Wurzelfüllung, die auf ein Niveau von 1 mm subgingival gekürzt worden ist, und oberhalb einer zu applizierenden Unterfüllung (bis auf Gingivarand, aus GIZ) ebenfalls das Bleichgel in das Pulpakavum gegeben.

Bevorzugt wird ein Natriumperborat-Wasser-Gemisch zur intrakoronalen Einlage verwendet, da dieses im Vergleich zu Natriumperborat- H_2O_2 (3%)-Gemischen und reinem H_2O_2 die geringste Zytotoxizität auf Desmodontalzellen sowie die geringste H_2O_2 -Penetration durch das Dentin bei ebenso guter Wirksamkeit und Farbstabilität aufweist.

Natriumperborat ist als Pulver oder in Form von NP-Tetrahydrat, -Monohydrat oder -Trihydrat in Apotheken erhältlich (Attin, 2001; Attin et al., 2002; Attin und Hickel, 2001; Geurtsen und Günay, 1995; Hellwig et al., 2003). In einer Studie wurde festgestellt, dass alle drei Kristallisationsformen des Natriumperborats bei der Anwendung für die Walking-Bleach-Technik gleichermaßen gute Ergebnisse erzielen, die auch identische Erfolgsraten im Vergleich zur Aufhellung durch 30%iges H_2O_2 zeigen. Der Erfolg steigt mit der zunehmenden Dauer der Anwendung (Ari und Üngör, 2002). Über das applizierte Bleichmittel erfolgt ein dichter provisorischer Verschluss des Zahnes durch eine adhäsiv verankerte Füllung.

Der dichte Verschluss des Zahnes durch die provisorische Füllung und auch die spätere Restauration sind wichtig für den Erfolg der Therapie, da eine Dentinrekontamination durch Chromogene dauerhaft vermieden werden sollte (Attin et al., 2002; Hellwig et al., 2003; Attin und Hickel, 2001). Das Bleichmittel wird für etwa drei bis fünf Tage im Zahn belassen. Aus der Suspension wird langsam Sauerstoff freigesetzt, was die Oxidation von Farbpigmenten bewirkt. Darauf erfolgt eine Kontrolle. Bei zufrieden stellendem Ergebnis wird das Bleichmittel wieder entfernt und der Zahn endgültig verschlossen. Ansonsten

kann die Vorgehensweise wiederholt werden, bis die gewünschte Aufhellung erzielt worden ist (Hellwig et al., 2003; Attin und Hickel, 2001).

Nach der Bleichtherapie werden initial meist gute Resultate erzielt. Vor allem verfärbte Zähne jüngerer Patienten sprechen aufgrund der weiten Dentintubuli gut auf die Bleichtherapie an. Eine schlechte Prognose hinsichtlich des Bleicherfolgs weisen besonders durch Wurzelkanalmedikamenten bzw. -füllmaterialien und korrosionsbedingt verfärbte Zähne auf (Attin, 2001).

Eine dritte Möglichkeit des internen Bleichens ist die Kombination der thermokatalytischen Aufhellungsmethode mit der Walking-Bleach-Technik. Dabei wird an die thermokatalytische Bleichung eine Langzeitbleichung angeschlossen.

Das interne Bleichen kann auch in Kombination mit dem externen Bleichen bei avitalen Zähnen angewendet werden, um das Ergebnis zu optimieren. Dabei wird das Gel, vorzugsweise Carbamidperoxidgel, in eine Schiene appliziert, die auf die Zahnreihe aufgesetzt wird. Das Pulpakavum kann entweder verschlossen bleiben oder eröffnet sein. Im letzteren Falle wird das Bleichgel durch die Schiene bis in die offene palatinale Zugangskavität gepresst und man spricht in diesem Fall von der Inside-Outside-Technik. Die Anwendung erfolgt nachts und der palatinale Zugang wird vom Patienten selbst durch ein Wattepellet verschlossen, wenn die Schiene nicht getragen wird.

Bei obliterierten Wurzelkanälen avitaler Zähne kann auch die alleinige Anwendung des externen Bleichens erfolgen.

Der Nachteil bzw. die Gefahr des internen Bleichens besteht darin, dass der rein provisorische Verschluss bzw. das Offenhalten eines Zahnes dazu führen kann, dass Bakterien in das Dentin oder entlang der Wurzelfüllung in apikale Bereiche gelangen können (Attin, 2001; Attin und Hickel, 2001; Hellwig et al., 2003; Schriever, 2001).

1.7.2 Externes Bleichen



Abb. 9: Darstellung des externen Bleichens mithilfe verschiedener Verfahren. Von links nach rechts sind das Schienenbleichen, das Bleichen mittels lokaler Pinselapplikation und die Anwendung eines Folien-systems zu sehen (Kielbassa und Zantner, 2001; Duschner, 2002)

Der Begriff „externes Bleichen“ beschreibt zunächst einmal die Art der Anwendung des Bleichmittels insofern, als dass der Zahn noninvasiv von außen behandelt wird. Das Bleichgel wird auf die Schmelzoberfläche aufgetragen. Daher beschränkt sich dieses System auch nicht allein auf avitale Zähne, sondern dient vor allem zur Aufhellung pulpavitaler verfärbter Zähne (Koch, 2003). Verschiedene Applikationsformen des externen Bleichens sind in Abb. 9 dargestellt: Das Schienenbleichen, die Pinselapplikation und die Applikation mittels eines Foliensystems.

Es besteht ein grundsätzlicher Unterschied zwischen Systemen, die freiverkäuflich in Drogeriemärkten oder Apotheken erhältlich sind und keiner professionellen Überwachung durch den Zahnarzt bedürfen und solchen, die in der zahnärztlichen Praxis vom Zahnarzt angewandt werden. Die Bleichgele unterscheiden sich dahingehend, dass in der zahnärztlichen Praxis mit hochkonzentrierten Peroxiden gearbeitet wird. Frei verkäufliche Systeme haben einen vorgeschriebenen Grenzwert von 22% H_2O_2 , der nicht überschritten werden darf (Duschner, 2002).

Die zu unterscheidenden Systeme werden kurz als

- Home-Bleaching (10-20% Carbamid-Peroxid)
- In-Office-Bleaching (30-35% Carbamid-Peroxid) und
- Chairside-Bleaching ($\geq 35\%$ Carbamid-Peroxid, $> 35\%$ Hydrogen-Wasserstoffperoxid)

bezeichnet.

Das Home-Bleaching fasst die externen Bleichsysteme zusammen, die in häuslicher Anwendung durchgeführt werden. Dazu wird vorwiegend 10-15%iges Carbamidperoxid in

Gelform verwendet, welches im Verhältnis 7:3 in Harnstoff und H_2O_2 zerfällt (Attin und Hickel, 2001). Die Wirkstoffkonzentrationen sind gering gehalten, um das Risiko von Nebenwirkungen z.B. bezüglich der Gingiva zu minimieren. Das führt jedoch dazu, dass die Bleichprozedur über einen längeren Zeitraum erfolgen muss, um einen Effekt zu erzielen (Lips, 2004). Im Allgemeinen treten laut Attin Nebenwirkungen wie Hypersensibilität und Weichteil-Irritationen vor allem mit der Dauer der Anwendung in Beziehung auf. Da die Konzentration von Carbamidperoxid und H_2O_2 ohnehin nach ein bis zwei Stunden in den Schienen stark abfällt, kann die Bleichdauer auf eine Anwendungsdauer von einer Stunde pro Tag reduziert werden (Koch, 2003). Koch vertritt die Meinung, dass externe Aufhellungsverfahren grundsätzlich im Sinne schonender Home-Bleaching Verfahren durchgeführt werden sollten, und zwar durch Anwendung niedriger Konzentration bei täglich ein- bis zweistündiger Dauer, da so Nebenwirkungen weitgehend vermieden werden können (Koch, 2003).

Das Carbamidperoxidgel wird meist mit Hilfe von Medikamententrägern, deren Produktbreite von Folien bis hin zu Schienen reicht, oder auch direkt durch Pinselapplikation auf die zu bleichenden Zähne aufgetragen. Die Anwendung erfolgt häufig nachts und zeigt nach etwa acht bis zehn Tagen deutliche Aufhellungen (Attin und Hickel, 2001).

In einer Studie von Matis et al. wurde festgestellt, dass der erzielte Bleicherfolg nach einer zweiwöchigen Bleichmittelanwendung in einem Zeitraum von sechs Monaten um etwa 45% reduziert wird.

Man stellte außerdem fest, dass Farbstoffe im Anschluss an eine Bleichbehandlung nicht verstärkt in den Zahnschmelz eingelagert werden (Koch, 2003).

Das In-Office-Bleaching umfasst Bleichverfahren, die in der Zahnarztpraxis durchgeführt werden. Dabei handelt es sich meist um Schienenbleichverfahren, die mit höher konzentrierten Peroxiden, das heißt mit 30-35%igem Carbamidperoxid, arbeiten. Aufgrund des hohen Peroxidgehaltes der verwendeten Bleichgele bleibt der Patient während der Bleichbehandlung in der Praxis, denn so ist für eine Überwachung möglicher Nebenwirkungen durch den Zahnarzt gewährleistet (Bonness et al., 2000). Man spricht auch vom Waiting-Room-Bleaching, wenn der Patient für die Dauer der Einwirkzeit des Bleichgels in einer konfektionierten Schiene im Wartezimmer sitzt. Neben der Verwendung der Schienen für das In-Office-Bleaching besteht auch die Möglichkeit des freien Auftrags des Bleichgels. Dabei kann die Bleichreaktion durch blaue Plasmalicht-, blaue Halogenlicht- oder Laserlichtbestrahlung initiiert bzw. unterstützt werden. Eine höhere Effektivität der

Lichteinkopplung in das Bleichmaterial wird durch dessen Einfärbung in komplementären Farben zur Strahlungsquelle erreicht (Hopp und Biffar, 2004).

Das Chairside-Bleaching wird ebenfalls in der Praxis angewendet, wobei „Chairside“ bedeutet, dass der Behandler während des Bleichvorgangs am Stuhl des Patienten verweilt. Die Bleichmittel, die hier Anwendung finden, arbeiten mit noch höheren Wirkstoffkonzentrationen als beim In-Office-Bleaching. Es wird Carbamidperoxid von 35%iger oder höherer Konzentration bzw. höher als 35% konzentriertes Hydrogen-Wasserstoffperoxid verwendet. Zusätzlich erfolgt zur thermokatalytischen Wirkungssteigerung eine Licht-/Hitze- oder Laseraktivierung des Bleichmittels. Der Vorteil dieser Behandlungsform sind kurze und erfolgreiche Behandlungssitzungen (Berger et al., 2004). Jedoch erhöht sich die Gefahr der Nebenwirkungen insbesondere bezüglich irreversibler Pulpairritationen aufgrund von Hitzeschädigung und der erhöhten Peroxidpenetration (Attin und Hickel, 2001).

1.7.2.1 Applikationssysteme

1.7.2.1.1 Schienensysteme



Abb. 10: Darstellung der Vorbereitungsmaßnahmen und Anwendung des Schienenbleichens: Die Vestibularflächen der Zähne werden auf einem laborgefertigten Modell mit Kunststoff ausgeblockt. Darüber wird eine Tiefziehschiene angefertigt. Die Schiene wird mit dem Bleichgel befüllt und auf die Zahnreihe aufgesetzt (Kielbassa und Zantner, 2001).

Bei Schienensystemen handelt es sich um Bleichverfahren, die eine flexible Kunststoffschiene als Medikamententräger nutzen (Abb. 10). Die Kunststoffschienen sind individuell auf den Patienten zugeschnitten. Sie werden nach Abdrucknahme auf dem Patientenmodell angefertigt. Die Glatflächen der zu bleichenden Zähne werden auf dem Modell mit einer 0,5 mm dicken Kunststoffschicht, die bis 1-1,5 mm supragingival ausgedehnt ist, ausgeblockt. Dadurch erhält die Schiene ein Reservoir für das zu applizierende Bleichmittel (Geurtsen und Günay, 1995).

Bei einem Vergleich von Schienen mit und ohne Reservoir konnten keine Unterschiede in der Wirksamkeit oder in Bezug auf Sensitivitäten festgestellt werden. Der Vorteil der Systeme mit Reservoir ist der, dass geringere Mengen des Bleichmittels verschluckt werden (Attin et al., 2002). Der Gelträger wird im Patientenmund angepasst und der Patient wird in der Handhabung unterwiesen. Den eigentlichen Bleichvorgang führt der Patient bei niedrig konzentrierten Bleichgelen (10%) als Home-Bleaching durch. Das Bleichgel kann über

Nacht oder 2-4 Stunden tagsüber angewendet werden. Die Behandlung sollte nach einem Zeitraum von einer bis maximal drei Wochen abgeschlossen sein, wobei der Patient in dieser Zeit durch Zwischenkontrollen beim Zahnarzt betreut werden sollte.

Bleichprodukte, die mit diesem Verfahren arbeiten, enthalten ein 10-15%iges Carbamidperoxidgel und zusätzlich häufig Carbopol, um eine dickere Gelkonsistenz zu erreichen und eine verbesserte Adhäsion an der Zahnoberfläche zu erzielen.

Ein aktuelles Beispielprodukt für dieses Verfahren ist Perfect Bleach[®] von Voco.

Zur Anwendung höher konzentrierter Bleichgele in Schienensystemen erfolgt die Behandlung in-Office. Das heißt, dass der Patient die Praxis während der Einwirkungszeit des Bleichgels (30% H₂O₂) nicht verlässt.

Schienensysteme empfehlen sich zur Aufhellung von pulpavitalen Zähnen mit physiologischen altersbedingten Zahnverfärbungen, medikamentös bedingten Verfärbungen, Fluorose, ernährungsbedingten Ablagerungen und zur Aufhellung von pulpatoten Zähnen mit Verfärbungen durch Füllungswerkstoffe sowie Verfärbungen durch Blutbestandteile nach Trauma oder Exstirpation (Geurtsen und Günay, 1995; Gebrauchsinformation Voco Perfect Bleach[®]).

Neben individuell gefertigten Bleichschienen gibt es auf dem Markt der Bleichsysteme auch konfektionierte Schienensysteme. Die Firma Ultradent Products bietet mit trèswhite[®] ein Aufhellungssystem mit einem vorgefüllten adaptierbaren Zahnaufhellungs-Kombi-Tray zur Einmalverwendung an (Luthardt, 2005).

Bei verfärbten pulpatoten Zähnen kann durch Schienensysteme eine Kombination von internem und externem Bleichen erfolgen, indem die Zugangskavität zum Kronenkavum geöffnet bleibt und die Schiene mit dem Bleichgel wie bereits beschrieben vom Patienten angewandt wird (Geurtsen und Günay, 1995). Die Konzentration der Peroxide ist im Vergleich zu Foliensystemen höher (Duschner, 2002).

Nach einem Erfahrungsbericht von Friese konnte bei einer vierzehnjährigen Patientin, die unter einer Dentalfluorose litt, ein langfristig stabiler Therapieerfolg bei der Anwendung des externen Bleichens mit einem 10%igen Carbamidperoxidgel erzielt werden. Die Dokumentation des Zustand acht Jahre nach der Therapie im Vergleich zum Ausgangsergebnis belegt dies (Friese, 2004).

1.7.2.1.2 Foliensysteme



Abb. 11: Klinisches Bild der Adaptation eines Whitestrips® an die Oberkiefer-Zahnreihe (Duschner, 2002)

Foliensysteme, wie in Abb. 11 zu sehen, sind Bleichprodukte, die den Systemen für den Hausgebrauch zugerechnet werden können. Ein dünner, transparenter Polyäthylenstreifen dient als Trägermaterial für das Bleichgel. Bei dem Produkt Whitestrips® (Fa. Procter & Gamble) ist zum Beispiel eine Seite des Streifens mit einem haftenden 5,3%igen H_2O_2 -Gel beschichtet. Im Allgemeinen bewegt sich die Konzentration von H_2O_2 -Gel auf Foliensystemen zwischen 5,3 und 6,5%. Der Streifen wird auf die Labialflächen des Frontzahnbereichs im Ober- bzw. Unterkiefer aufgebracht, sodass die Zähne dort vom Bleichgel berührt werden. Die Anwendung des Präparates erfolgt zweimal täglich für 30 Minuten und über eine Dauer von 14 Tagen oder länger (Attin et al., 2002; Duschner, 2002; Gerlach und Zhou, 2001). Vorteilhaft ist hier die Tatsache, dass durch den minimalen Einsatz der Peroxide, die zudem gering konzentriert angewendet werden, bei guter Bleichwirkung nur mit geringen Nebenwirkungen zu rechnen ist. Zum Beispiel kann durch die gezielte Applikation vermieden werden, dass Restaurationen dem Bleichmittel ausgesetzt werden und damit deren Bondstärke vermindert wird. Außerdem handelt es sich um ein nahezu pH-neutrales Gel (Duschner, 2002). Die Produkte sind vorwiegend auf das Home-Bleaching ausgerichtet und in Drogerien erhältlich. Einige Produkte sind allerdings auch allein über den Zahnarzt zu beziehen, wie zum Beispiel *blend-a-med Whitestrips professional*®. Damit ist gewährleistet, dass dieses Produkt kontrolliert angewendet wird. Das heißt, dass der Zahnarzt zunächst die nötigen Voraussetzungen für eine unproblematische Bleichmittelanwendung schaffen kann. Beispielsweise können kariöse Läsionen behandelt werden um zu vermeiden, dass das H_2O_2 durch freiliegendes Dentin in die Pulpa diffundieren kann (Lips, 2004).

Peters beschäftigt sich in einer In-vivo-Studie mit Whitestrips und deren Patientenakzeptanz. Die Patienten äußern eine große Zufriedenheit über das Aufhellungsergebnis bei 14-tägiger Anwendung. Problematisch sehen die Anwender in der Studie die Beeinträchtigung der Sprache, während der Streifen auf die Zähne aufgelegt ist (2x täglich 30 min.). Zudem werden die Empfindlichkeit der Zähne, die Schleimhautreizung und die Handhabung der Strips kritisiert. 90% der Testpersonen waren aber mit dem Verhältnis von Zeitaufwand und Nutzen zufrieden (Peters, 2003). Bei den Foliensystemen zeigen sich verhältnismäßig wenig Nebenwirkungen. Gingivairritationen treten genauso häufig auf wie bei Placebogruppen und auch Sensitivitäten werden bei Whitestrips selten beklagt. Dabei ist der Aufhellungseffekt vergleichbar mit dem Ergebnis der Anwendung von 10-20% Carbamidperoxidgelen für täglich zwei Stunden (Attin et al., 2002).

1.7.2.1.3 Lokale Applikation



Abb. 12: Klinisches Bild der Pinselapplikation eines Bleichgels auf die Zahnoberfläche

Produkte zur lokalen Applikation sind die in Apotheken und Drogerien frei erhältlichen „Paint-on“-Präparate. Das Bleichmittel wird mittels eines Pinsels oder eines Bürstchens direkt auf die zu bleichenden Zähne aufgetragen (Abb. 12). Nach der Applikation soll das Bleichmittel je nach Produkt 30 bis 60 Sekunden auf der Zahnoberfläche austrocknen. Daraufhin sollte der Anwender weitere 15 bis 30 Minuten auf eine Nahrungsaufnahme verzichten. Meist ist das Entfernen des Bleichmittels nicht nötig. Die Anwendung dieser Bleichprodukte erfolgt meist ein- bis zweimal täglich und über eine Gesamtdauer von 14 Tagen. Die „Paint-on“ Produkte enthalten H_2O_2 oder Carbamidperoxid als aktive Bleichsubstanz (Wiegand, 2006).

Das Produkt Simply White® von Colgate gehört zu den Systemen, die direkt mit einem Pinselapplikator auf den Zahnschmelz aufgetragen, also lokal appliziert werden. Das Bleichmittel ist als 18-prozentiges Carbamidperoxidgel, aber auch mit 5,9% H_2O_2 erhältlich. Das Gel ist über einen Zeitraum von dreißig Minuten aktiv. Danach soll es weggebürstet oder geschluckt werden. Das Aufhellungsergebnis soll je nach Ausgangssituation etwa vier Vita®-Farbstufen umfassen (Koch, 2003).

1.7.2.1.4 Licht- bzw. Laserassistierte Techniken



Abb. 13: Klinisches Bild des Laserbleichens (http://www.mlt-laser.de/html/dent_bleaching.html, 25.02.2007)

Bis Ende der 80er Jahre wurden zum Bleichen verfärbter Zähne vorwiegend thermokatalytische Aufhellungsverfahren angewandt. Unter Kofferdam brachte man 30- bis 35%iges H_2O_2 auf die Zahnoberfläche und applizierte mit Hilfe von Bleichgeräten Wärme und/oder Lichtenergie, was eine massive Freisetzung von naszierendem Sauerstoff bewirkte und die Penetration von H_2O_2 durch die Zahnhartsubstanz verstärkte, sodass der Aufhellungsprozess beschleunigt wurde (Garber, 1997; Geurtsen und Günay, 1995). Jedoch führt die Einwirkung thermischer Energie zu einer übermäßigen Erwärmung des Zahnes ($40-42^\circ C$ für $2 \times 2,5$ min.), was Pulpairritationen nach sich zieht. Aus diesem Grund gelten diese Verfahren als obsolet (Attin und Hickel, 2001).

Abgelöst werden soll eine thermische Aktivierung des H_2O_2 heute durch neue Methoden der laserinduzierten Aktivierung (Attin und Hickel, 2001). Seit etwa zehn Jahren kommen in verschiedenen zahnmedizinischen Fachgebieten Laser zum Einsatz. Sie unterscheiden sich in erster Linie je nach Einsatzgebiet in der Wellenlänge der emittierten Strahlung, welche die Lichtverteilung im Gewebe bestimmt. Ein zweites wichtiges Kriterium ist die Leistung des Lasers. Laser im Dauerstrahlbetrieb (Argon-Ionen-, Dioden-, CO_2 -Laser) erreichen eine geringere Leistung als gepulste Laser (viele Nd:YAG-Laser) (Hibst, 2001; Lips, 2004).

Die Laseranwendung wurde auch als willkommenes Hilfsmittel für die ästhetische Zahnheilkunde und im Speziellen auch für das Bleichen als Alternative zum thermokatalytischen „Power Bleaching“ entdeckt. Der Vorteil der im Vergleich zu anderen Bleichverfahren beschleunigten Aufhellungsreaktion soll weiter bestehen, während Pulpairritationen vermieden werden, indem die auf den Zahn einwirkende thermische Energie bei den La-

serverfahren reduziert wird (Sun, 2000). Durch die Wahl der Behandlungszeit des Zahnes mit dem Laser soll möglichst nur oberflächlich ein Temperaturanstieg erzielt werden, während die Pulpa nur geringe Temperaturerhöhungen erfährt. Selektive Dioden-Laser-Be-strahlung soll die Zeit des Bleichens verkürzen können, ohne Oberflächenveränderungen hervorzurufen (Dostolova et al., 2004).

Die Wirksamkeit der Laser beruht darauf, dass sie die Oxidationsreaktion durch H_2O_2 katalysieren. Durch die Laserenergie wird das H_2O_2 also beschleunigt in Wasser und freie Sauerstoffradikale aufgespalten. Die freien Radikale binden an Chromogene, sodass die farbgebenden Doppelbindungen aufgespalten und in Einfachbindungen umgewandelt werden und den farbgebenden Effekt dadurch verlieren (Garber, 1997; Sun, 2000). Es gibt drei Möglichkeiten, wie die Laserenergie bei Kontakt mit dem entsprechenden Substrat „reagiert“: Sie kann transmittiert, reflektiert oder absorbiert werden. Eine Effektivität beim Aufhellungsprozess wird allerdings durch die Absorption von Laserenergie erzielt (Garber, 1997).

Für Bleichverfahren wurden drei Dentallaser von der „Food and Drug Administration“ (FDA) freigegeben: der 488 nm-Argon-Ionenlaser, der 10,6 μm - CO_2 -Laser und der 980 nm-GaAs-Diodenlaser.

Mit dem Argonlaser, der eine Wellenlänge von 488 nm emittiert, wurde ein Laser entwickelt, der für das Bleichen in Kombination mit hoch konzentriertem H_2O_2 eine hohe Effizienz bei möglichst geringen Nebenwirkungen erzielt. Die Wellenlänge des Argonlasers wird von dunklen Farben absorbiert, was diesen besonders wirksam gegen bräunlich-gelbliche Zahnverfärbungen macht. Der Argonlaser emittiert im Gegensatz zu Halogenlampen und Lichtbogenlampen sowie anderen Wärmelampen (die Wärmelampen erzielen Wellenlängen von etwa 750 nm) Strahlung kürzerer Wellenlänge. Das bietet den Vorteil, dass weniger thermische Energie, die zu Pulpairritationen führen kann, freigegeben wird. Eine Faustregel besagt, dass ein Zahn 30 Sekunden mit dem Argonlaser und nur 10 Sekunden mit einer Lichtbogenlampe bestrahlt werden darf. Anschließend wird eine Zeit von 5 Minuten für die chemische Oxidation beim Argonlaser und eine Zeit von 10 Minuten bei der Lichtbogenlampe empfohlen (Sun, 2000).

Der CO_2 -Laser emittiert seine Strahlungsenergie allein in Form von Hitze und wird schon bei einer Eindringtiefe von 0,1 mm in Wasser oder H_2O_2 absorbiert (Reyto, 1998).

Das Laserbleichsystem nach Yarborough sieht vor, dass beim Patienten zunächst durch einen Argonlaser in Kombination mit einem Bleichgel aus 50%igem H_2O_2 und einem entsprechenden Katalysator die tiefen Zahnverfärbungen entfernt werden. Der Laser bestrahlt

den Zahn für 30 Sekunden, nachdem das Bleichgel mit Katalysator auf den Zahn appliziert worden ist. Dieser Prozess wird mehrmals wiederholt. Durch dessen Affinität zu dunklen Farben können gelb-bräunliche Verfärbungen durch Anwendung dieses Lasers beim Bleichen leicht entfernt werden. Jedoch wird die Strahlung des Lasers durch die zunehmende Aufhellung der Zähne mehr und mehr reflektiert und weniger absorbiert, sodass der Laser zunehmend unwirksam wird. Deshalb soll darauf eine mehrmalige Behandlung mit einem CO₂-Laser unter wiederholter Applikation des Bleichgels, das heißt von 50%igem H₂O₂ in Kombination mit einem zweiten Katalysator, erfolgen. Der Vorteil des CO₂-Lasers liegt darin, dass dessen Wärmeenergie unabhängig von der Zahnfarbe arbeitet und den durch den Argonlaser bereits erzielten Effekt noch verstärken kann (Reyto, 1998; Sun, 2000). Außerdem führt der CO₂-Laser auch zu einer Aufhellung tieferliegender Verfärbungen (Ada council on scientific affairs, 1998).

Es gibt auch Laserbleichsysteme, die allein mit dem Argonlaser der Wellenlänge von 488 nm arbeiten. Dabei wird der zu bleichende Zahn beispielsweise für 30 Sekunden mit dem Laserlicht bestrahlt, um die Aktivität des zuvor applizierten Bleichgels zu erhöhen. Das Gel soll anschließend weitere 3 Minuten einwirken, bevor es daraufhin vollständig entfernt wird. Dieser Ablauf wird vier- bis sechsmal wiederholt, bis die gewünschte Zahnfarbe erreicht ist (Ada council on scientific affairs, 1998).

Neben den bereits erläuterten Methoden des Laserbleichens gibt es auch Anhänger, die die alleinige Anwendung des CO₂-Lasers favorisieren, da dieser die Reaktion effektiver katalysiere als der Argon-Laser (Garber, 1997). Die Temperatur, die durch den CO₂-Laser am Zahn erreicht wird, ist für die Reaktionsrate zwar am günstigsten, birgt jedoch auch eine höhere Gefahr der Pulpairritation (Sun, 2000).

Nach einer Laserbehandlung wird ein Fluoridgegel auf die Zähne aufgetragen, welches durch den CO₂-Laser aktiviert wird, um die Remineralisation der Zahnhartsubstanz zu initiieren. Abschließend erfolgt eine Zahnpolitur (Sun, 2000).

Eine Laserbehandlung sollte unter Schutz der Augen durch eine spezielle Brille erfolgen. Außerdem muss die Gingiva zum Beispiel durch konventionellen Kofferdam mit Ligaturen der Zähne, durch lichthärtenden „flüssigen Kofferdam“ (z.B. EasyDam) oder durch Isolation der Gingiva mit Hilfe eines speziellen Wachses und eines schleimhautschützenden Gels abgeschirmt werden. Dem Schutz der Wangenweichteile dient die relative Trockenlegung mit Watterollen (Sun, 2000; Berger et al., 2004). In Abb. 13 ist ein klinisches Bild des Laserbleichens zu sehen.

Über die Nebenwirkungen dieses Verfahrens kann noch keine definitive Aussage gemacht werden (Koch, 2003). Erste In-vivo-Studien beschäftigen sich mit der Thematik auftretender Nebenwirkungen, wobei Berger et al. (2004) zu dem Ergebnis kommen, dass bei Laseranwendung in Kombination mit einem Bleichmittel auf 35%iger H₂O₂-Basis trotz erhöhter Eindringtiefe des H₂O₂ keine schädigende Wirkung auf die Zähne festzustellen ist.

1.8 Klinische Vorgehensweise

1.8.1 Untersuchung und Befundung vor dem Bleichen

Jede Bleichbehandlung sollte unter zahnärztlicher Kontrolle erfolgen (Peters, 2005). Bevor der Zahnarzt die Entscheidung für eine Bleichtherapie trifft, ist eine genaue Untersuchung des Patienten notwendig (Duschner, 2002; Peters, 2005).

Bei Patienten, die an einer Zahnaufhellung interessiert sind, geben spezielle und allgemeine Anamnese erste Hinweise auf die mögliche Ursache von Zahnverfärbungen. Informationen beispielsweise über vergangene Traumata, längere Medikamenteneinnahme und über Allgemeinerkrankungen können sehr aufschlussreich sein (Schriever, 2001), ebenso wie Auskünfte darüber, ob der Patient Raucher ist oder viel Kaffee, Tee oder Rotwein trinkt (Duschner, 2002; Peters, 2005). Deshalb sollte ein ausführlicher klinischer Befund erfolgen (Geurtsen und Günay, 1995). Im Rahmen des Befundes sollten die Zahnverfärbungen des Patienten genau betrachtet werden, um die Ätiologie der Verfärbung zu ergründen. Es muss zum Beispiel die Frage geklärt werden, ob es sich um generalisierte oder lokal auftretende Verfärbungen handelt. Generalisierte Zahnverfärbungen sind zumeist systemisch bedingt, es kann sich jedoch auch um eine altersbedingte oder durch externe Verfärbungen bedingte Farbänderung handeln. Die lokale Verfärbung eines einzelnen Zahnes ist meist auf eine Pulpanekrose zurückzuführen. Zur genauen Abklärung der Ursache sollte ein Zahnstatus einschließlich thermischer Sensibilitätstests sowie ein aktueller Röntgenbefund erhoben werden. So können avitale oder wurzelgefüllte Zähne als potenzielle Verursacher für Zahnverfärbungen erkannt werden (Schriever, 2001). Der Röntgenbefund kann zusätzlich pathologische Veränderungen oder Auffälligkeiten wie vergrößerte Pulpakavitäten an verfärbten Zähnen sowie an den angrenzenden Geweben ausschließen (Attin, 2001; Geurtsen und Günay, 1995). Der Zahnstatus bietet zudem Informationen darüber, inwieweit vor Beginn einer Bleichbehandlung Therapiebedarf bezüglich kariöser Läsionen, freiliegenden Dentins, insuffizienter Restaurationen mit Randspal-

ten oder Undichtigkeiten und insuffizienter Wurzelfüllungen besteht, um zu verhindern, dass H_2O_2 durch freiliegendes Dentin in die Pulpa diffundieren kann (Attin und Hickel, 2001; Peters, 2005).

Da Amalgamfüllungen grundsätzlich nicht mit Bleichmittel in Kontakt treten sollten, im sichtbaren Frontzahnbereich aber ohnehin extrem selten sind, kann auch bei bestehenden Amalgamversorgungen darüber nachgedacht werden, ob man ein Bleichsystem für den Patienten auswählt, welches wie die Foliensysteme kontrolliert auf den Frontzahnbereich reduziert ist, oder ob die Füllungen alternativ durch ein anderes Material ersetzt werden sollen (Duschner, 2002; Peters, 2005).

Zusätzlich gibt der Zahnstatus Auskunft darüber, in welchem Ausmaß der Austausch von Füllungen nach einer Bleichtherapie nötig ist, um nach dem Aufhellungsvorgang das ungleichmäßige Bild zwischen hellerer Zahnhartsubstanz und dunklerer Restauration zu beheben (Duschner, 2002; Peters, 2005). Um zu entscheiden, ob eine Bleichbehandlung unter Abwägung alternativer Therapiemöglichkeiten überhaupt indiziert ist, muss speziell untersucht werden, wie weit bestehende Füllungen bei verfärbten avitalen Zähnen ausgeht sind. Dabei muss entschieden werden, ob unabhängig von der Verfärbung die Notwendigkeit einer Überkronung besteht, um eine Zahnfraktur zu verhindern.

Zudem ist es wichtig, auf Schmelzsprünge und Infrakturen der zu bleichenden Zähne zu achten. Risse und Sprünge in der Zahnhartsubstanz ermöglichen die Penetration von H_2O_2 in tieferliegendes Gewebe. Im Falle solcher Risse und Sprünge sollte eine Aufhellungstherapie abgelehnt werden.

Parafunktionen erhöhen das Frakturrisiko speziell bei avitalen Zähnen und sollten ebenfalls zum Ausschluss einer Bleichbehandlung führen. In solchen Fällen ist die Überkronung das Mittel der Wahl (Schriever, 2001).

1.8.2 Voraussetzungen und vorbereitende Maßnahmen vor Beginn einer Bleichtherapie

Externe Verfärbungen lassen sich häufig schon im Rahmen einer professionellen Zahnreinigung mit Hilfe von Polierpasten und Pulverstrahlgeräten entfernen. Es sollte also in jedem Fall insbesondere bei generalisierten Zahnfarbänderungen zunächst eine professionelle Zahnreinigung erfolgen (Attin und Hickel, 2001; Geurtsen und Günay, 1995). Lassen sich die Verfärbungen nicht durch eine gründliche Zahnreinigung entfernen,

handelt es sich um interne Verfärbungen, die durch Bleichen therapiert werden können (Attin, 2001).

Insuffiziente Restaurationen mit Randspalten oder Undichtigkeiten sollten vor einer externen Aufhellungstherapie erneuert und kariöse Läsionen sowie freiliegendes Dentin versorgt werden, um zu verhindern, dass H_2O_2 durch freiliegendes Dentin in die Pulpa diffundieren kann (Attin und Hickel, 2001; Peters, 2005). Freiliegende Zahnhälse können etwa mit Dentinversiegler behandelt werden. Bei Patienten mit bekannter Überempfindlichkeit sollte beispielsweise ein Desensibilisierungslack aufgetragen werden, um entsprechenden Empfindlichkeitsreaktionen vorzubeugen. Eine Therapie begleitende Fluoridierung ist ebenfalls sinnvoll (Koch, 2003).

Wird die Therapie des internen Bleichens bei einem verfärbten wurzelgefüllten Zahn angestrebt, muss die Dichte und Suffizienz der Wurzelfüllung (randdicht und bis zum Foramen physiologicum reichend) gewährleistet sein, was anhand eines Röntgenbildes überprüft werden kann. Wenn die Qualität der Wurzelfüllung unzureichend ist, muss diese revidiert werden, bevor eine Aufhellung erfolgt, da ansonsten die Gefahr der Penetration von H_2O_2 in das Parodontium und eine daraus erwachsende Schädigung besteht. Außerdem muss bei größeren Zahnschubstanzdefekten die Differenzialtherapie einer stiftverankerten Krone abgewogen werden, um die Frakturgefahr des Zahnes zu minimieren (Geurtsen und Günay, 1995; Hellwig et al., 2003). Bei vorliegenden apikalen Läsionen kann eine Bleichbehandlung erst nach deren Ausheilung erfolgen. Außerdem müssen Silberstifte oder Amalgamfüllungen, die korrosionsbedingte Verfärbungen hervorrufen können, vor einer Bleichtherapie aus den zu bleichenden Zähnen entfernt und durch Alternativmaterialien ersetzt werden, um einerseits eine bereits vorhandene korrosionsbedingte Verfärbung auszuschließen und andererseits die Entstehung einer solchen zu verhindern (Schriever, 2001). Wenn die Entscheidung zu einer Bleichtherapie fällt, sollte der Zahnarzt die Ausgangssituation beim Patienten mit Photos dokumentieren (Geurtsen und Günay, 1995). Zusätzlich ist es wichtig, dass der Zahnarzt die Entwicklung der Zahnfarbe während einer Aufhellungsbehandlung durch Zahnfarbbestimmungen in regelmäßigen Abständen kontrolliert, um aufgrund dieser Beobachtungen die Dauer der Behandlung bestimmen zu können (Peters, 2005).

1.8.3 Nachbehandlung nach erfolgtem Bleichen

Im Anschluss an eine Bleichbehandlung sollte eine Fluoridanwendung durchgeführt werden. Dadurch kann die möglicherweise durch Präparate mit Trägersubstanzen eines

niedrigen pH-Wertes verringerte Hartsubstanzhärte wieder normalisiert werden (Peters, 2005).

Das Austauschen zahnfarbener Füllungen im Frontzahnbereich sollte für ein einheitliches Erscheinungsbild nach der Bleichbehandlung erfolgen. Es sollte mindestens zwei Tage abgewartet werden, bevor diese Füllungstherapie erfolgt, um Farbveränderungen durch Wasseraufnahme der Zähne und damit verbundenes Nachdunkeln mitberücksichtigen zu können (Peters, 2005).

1.9 Literaturübersicht zum Zahnbleichen

In der aktuellen Literatur zum Zahnbleichen steht insbesondere die Frage nach Einflüssen verschiedener Bleichmittel auf die Zahnoberflächen sowie die Frage nach deren Effektivität im Mittelpunkt.

Zantner et al. stellen fest, dass die Anwendung eines 8%igen carbamidperoxidhaltigen Bleichlackes zu einem stabilen Aufhellungsergebnis führt (Zantner et al., 2004). Auch Braun et al. bestätigen in ihrer Studie eine deutliche Aufhellung der Zahnfarbe durch Bleichtherapie mit verschiedenen hoch konzentrierten Carbamidperoxidkonzentrationen (Braun et al., 2006). Joiner und Thakker schreiben Bleichgelen mit 10%igem Carbamidperoxid bzw. 6%igem H_2O_2 eine Entfernung sowohl extrinsischer als auch intrinsischer Verfärbungen zu (Joiner und Thakker, 2004).

Bezüglich der Auswirkungen von Bleichmitteln auf die Oberflächenstruktur der Zähne wird vorwiegend bei Bleichgelen mit hoher H_2O_2 -Konzentration eine Veränderung der Schmelzoberfläche festgestellt. Nach Zalkind et al. führt die Wirkung von 30%igem H_2O_2 zu einem ausgedehnten Abflachen und einer erhöhten Porosität der Schmelzoberfläche, während Schmelzproben nach Anwendung eines 10%igen Carbamidperoxids keine Oberflächenveränderungen aufweisen (Zalkind et al., 1996).

Pinto et al. stellen ebenfalls eine Zunahme der Oberflächenrauigkeit und eine erniedrigte Mikrohärtigkeit nach Einwirkung von 35%igem Wasserstoffperoxid auf Schmelzproben fest. Jedoch bemerken Pinto et al. zudem, dass auch Produkte mit einem Carbamidperoxidgehalt von 10% bei einer Einwirkzeit von 1x täglich 6 Stunden über eine Gesamtdauer von 14 Tagen bzw. 1x täglich 6 Stunden über eine Gesamtdauer von 5 Tagen zu einer Zunahme der Oberflächenrauigkeit und einer Abnahme der Mikrohärtigkeit des Schmelzes führen. Die Auswirkungen sind hier jedoch in einem wesentlich geringeren Ausprägungsgrad sichtbar als nach Einwirkung des 35%igen H_2O_2 (Pinto et al., 2004).

Efeoglu et al. sind auch der Meinung, dass 10%iges Carbamidperoxid auf der Schmelzoberfläche zu einer Demineralisation bis in eine Tiefe von 50 µm unterhalb der Schmelzoberfläche führt, wie sie in ihrer Studie anhand von Mikro-CT-Bildern feststellen (Efeoglu et al., 2005).

Araujo et al. ermittelten eine vernachlässigbar geringe Reduktion der Mikrohärtigkeit von Zahnschmelz nach Behandlung mit einem 10%igen Carbamidperoxidgel um 1,7% nach täglich einstündiger Einwirkzeit über einen Zeitraum von 21 Tagen (Araujo et al., 2003).

Auschill et al. hingegen konnten durch REM-Untersuchungen nach Bleichgeleinwirkung auf Schmelzproben keinerlei Oberflächenveränderungen durch die Bleichprodukte feststellen. Die Konzentrationen der Produkte reichten von 10% Carbamidperoxid über 5,3% H₂O₂, auch ein Gel mit 35% H₂O₂ wurde untersucht (Auschill et al., 2002).

McCracken und Haywood vergleichen den Calciumverlust von Schmelzproben durch Wirkung von 10% Carbamidperoxid und Cola. Zwar führt das Carbamidperoxid nach sechs Stunden Einwirkzeit zu einem leichten Calciumverlust, dieser ist jedoch geringer als der entsprechende Calciumverlust nach Einwirkung von Cola für 2,5 Minuten (Mc Cracken und Haywood, 1996).

1.10 Fragestellung / Ziel der Studie

Objekt der Untersuchungen ist das Bleichprodukt Colgate Simply White® mit einem 5,9%igen Gehalt an Wasserstoffperoxid.

Die Studie beschäftigt sich mit der Frage der Effizienz des Bleichmittels Colgate Simply White®. Die Veränderungen der Zahnfarbe unter der Aufhellungstherapie sollen mithilfe eines Farbbestimmungssystems gemessen werden. Neben der Effizienz soll überprüft werden, ob oder inwiefern es durch das Bleichprodukt mit anschließendem pH-Cycling zu Veränderungen der Oberflächenmorphologie des Zahnschmelzes kommt und welche Wirkung eine Fluoridierung in Kombination mit dem Bleichmittel auf die mikroskopische Struktur der Zahnoberfläche hat.

Durch das pH-Cycling sollen möglichst realistische Bedingungen geschaffen werden, um zu erschließen, wie die Oberflächenmorphologie des Schmelzes nach einem Zyklus verschiedener Demineralisationsphasen aufgrund von Säureangriffen und Remineralisationsphasen mit neutralem Speichel-pH-Wert aussieht.

Außerdem wird untersucht, ob die durch das Bleichen erreichte Farbveränderung durch das pH-Cycling beeinflusst wird.

2 Material und Methoden

2.1 Colgate Simply White®

Das Produkt Colgate Simply White® (Abb. 14) soll zur Aufhellung von Zähnen dienen. Es handelt sich um ein Gel, welches mithilfe eines beigefügten Pinsels auf die aufzuhellenden Zahnflächen appliziert wird. Die Anwendung erfolgt durch den Benutzer selbst. Das Produkt ist im Drogeriemarkt zu einem Preis von etwa 13 Euro erhältlich.



Abb. 14: Colgate Simply White®

In der Gebrauchsanweisung, die in der Produktpackung enthalten ist, wird der Benutzer angewiesen, nach dem gewohnten Zahnputzvorgang einen Film Colgate Simply White® mit einer Auf- und Abwärtsbewegung des Pinsels auf jeden Zahn einzeln aufzutragen. Die Gelmenge, die bei einmaligem Eintauchen des Pinsels aufgenommen wird, soll für etwa 3 Zähne reichen. Nach der Applikation soll nicht nachgespült und für 15 Minuten auf Essen und Trinken verzichtet werden. Die Wirkdauer beträgt also etwa 15 Minuten, bis durch die Reibung der Weichteile (Lippe, Wangen, Zunge) das Gel von den Zähnen entfernt ist. Die Anwendung sollte laut Hersteller zweimal täglich, möglichst morgens und abends, über eine Dauer von 14 Tagen erfolgen.

Eine beigegefügte Farbskala von 1 bis 10 soll es dem Benutzer ermöglichen, das Aufhellungsergebnis nachzuprüfen, das hier im Normalfall auf 3-4 Farbstufen Aufhellung bei 14 tägiger Anwendung festgelegt wird.

Die Inhaltstoffe des Gels sind

- gereinigtes Wasser,
- Glyzerin,
- Carbopol 965,
- Natriumhydroxid (als pH-Regulator),
- Wasserstoffperoxid in einer 5,9%igen Konzentration sowie
- Peroxidstabilisatoren: Natriumhydrogenpyrophosphat und Natriumstannat.

Die Aufhellung beruht auf der Wirkweise des in dem Gel enthaltenen Wasserstoffperoxids. Auf der Zahnoberfläche zerfällt dieses durch Reaktion mit dem im Speichel befindlichen Enzym Katalase in aktive Sauerstoffradikale und Wasser. Die freien Radikale diffundieren in den Zahnschmelz und in das Dentin. Dort oxidieren sie Kohlenstoffdoppelbindungen der farbgebenden Moleküle im Zahninneren und spalten farbgebende Ringmoleküle auf. Diese Oxidation verändert die Lichtbrechung und Lichtreflexion am Zahn. Es wird mehr einfallendes Licht reflektiert und die Zähne werden dadurch heller.

2.2 Farbbestimmung – Das Vita® 3D System



Abb. 15: Farbring Vitapan 3D-Master®, System zur Zahnfarbbestimmung.

Die Zahnfarbbestimmung wurde mithilfe des Vita Toothguide 3D-Master® (Abb. 15) durchgeführt. Beim Vita Toothguide 3D-Master® handelt es sich um ein System zur Bestimmung

von Zahnfarben. Laut Herstellerhinweis deckt dieses Zahnfarbsystem den gesamten Farbraum der natürlichen Zahnfarben ab.

Beim Farbsehen werden drei Größen unterschieden: der Farbton, die Helligkeit und die Intensität/Leuchtkraft. Intuitiv erfolgt die Bestimmung einer Farbe in eben dieser Reihenfolge: Farbton, Helligkeit, Intensität/Leuchtkraft. Dies führt zu einer hohen Quote an Fehleinschätzungen des Betrachters. Um die Fehlerquote zu minimieren, wurde ein System entwickelt, welches einer systematischen Methodik folgt. Die Helligkeit ist im Zahnfarbraum der Faktor mit der größten Spannbreite an Möglichkeiten (Abb. 2). Um bereits im ersten Schritt eine große Selektion zu erzielen, wird diese zuerst bestimmt. Darauf soll nach Ditzinger die Bestimmung der Sättigung und zuletzt des Farbtons erfolgen. Durch dieses Verfahren, welches dem System Vita® 3D zugrunde liegt, kann die Fehlerquote aufgrund von optischen Täuschungen bei der Zahnfarbbestimmung wesentlich verringert werden. Die Intuition wird durch Logik abgelöst (Ditzinger, 2004).

Das Vita®-System unterscheidet die drei bereits genannten Dimensionen: Farbhelligkeit (Value), Farbintensität (Chroma), Farbton (Hue). Entsprechend der Unterscheidung dieser drei Dimensionen erfolgt die Farbbestimmung schrittweise in drei Arbeitsgängen bei Tageslicht mit einer Armlänge Abstand und auf einem dunklen einheitlichen Hintergrund (Vita Produktinformation).

Helligkeit

Die Zahnfarbe wird zunächst einer der Helligkeitsstufen 1 bis 5 zugeordnet, wobei bei der Auswahl der Gruppe mit der dunkelsten begonnen wird (Abb. 16).

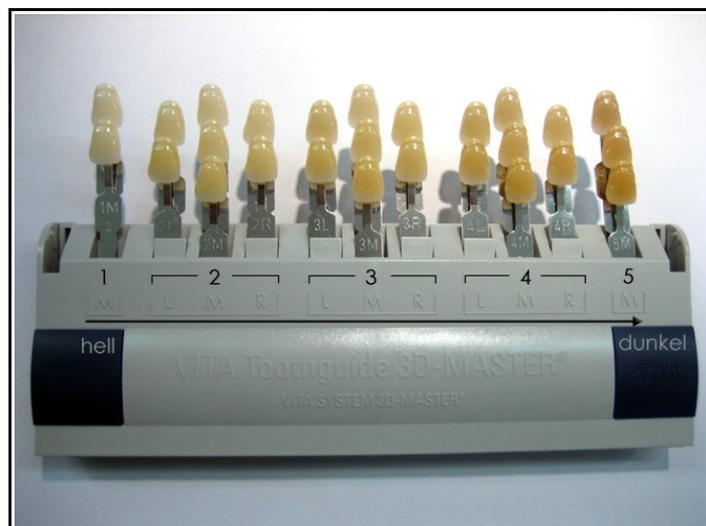


Abb. 16: Farbring Vitapan 3D-Master®, System zur Zahnfarbbestimmung mit Hervorhebung der Helligkeitsstufen 1-5 von hell nach dunkel.

Farbintensität

Im zweiten Schritt wird aus der gefundenen Helligkeitsgruppe der mittlere Farbfächer entnommen und auf dessen Basis die Farbe der Schmelzprobe der Intensität 1, 2 oder 3 zugeordnet (Abb. 17).

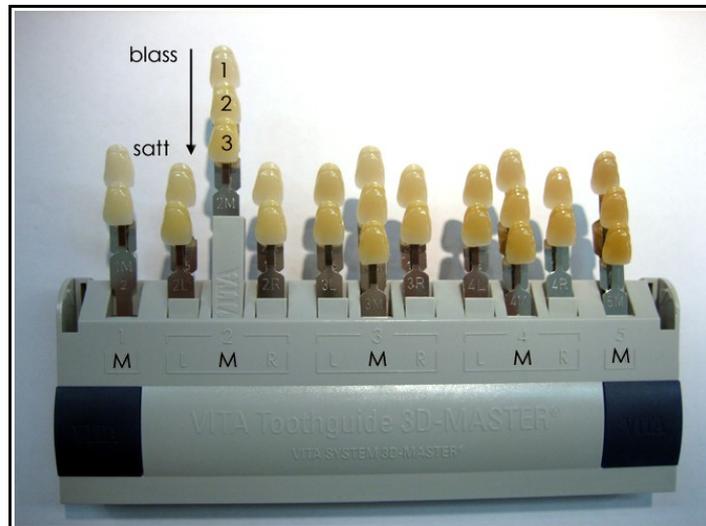


Abb. 17: Farbring Vitapan 3D-Master®, System zur Zahnfarbbestimmung mit Hervorhebung der Intensitätsstufen 1-3 von blass nach satt.

Farbton

Im letzten Arbeitsschritt wird bei bereits festgelegter Helligkeit und Farbintensität überprüft, ob die Zahnfarbe der Schmelzprobe „gelblicher“ (L) oder „rötlicher“ als das bereits ausgewählte Farbmuster „mittleren“ Farbtons (M) ist (Abb. 18).

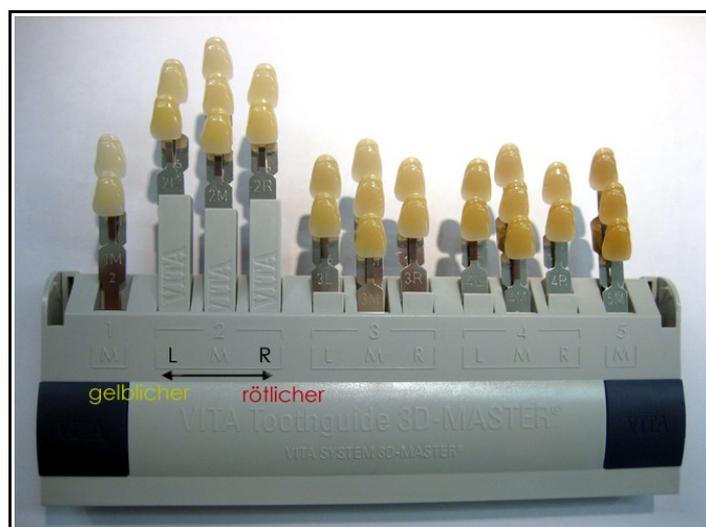


Abb. 18: Farbring Vitapan 3D-Master®, System zur Zahnfarbbestimmung mit Hervorhebung der Farbtonstufen L-R, die einen gelblicheren bzw. rötlicheren Farbton kennzeichnen

Zwischenwerte

Neben den 26 im Farbring vorhandenen und sichtbaren Farben lassen sich auch Zwischenwerte für Helligkeitsstufen, Farbintensität oder Farbton bestimmen:

Ein Zwischenwert der Helligkeitsstufen 2M2 und 3M2 würde als 2,5M2 bezeichnet.

Ein Zwischenwert der Farbintensitäten 3M1 und 3M2 würde als 3M1,5 bezeichnet.

Ein Zwischenwert der Farbtöne 3M2 und 3L2,5 würde als 3M2 / 3L2,5 bezeichnet.

Aus den gewonnenen Informationen ergibt sich eine Zahlen-Buchstabenkombination, die sich aus den 3 Komponenten zusammensetzt.

1; 2; 3; 4; 5 / L; M; R / 1; 1,5; 2; 2,5; 3

Die Kombination 3L1,5 beispielsweise würde einer Farbhelligkeit der 3. Stufe mit gelblichem Farbton und geringer Farbintensität entsprechen.

In der Versuchsanordnung der vorliegenden Studie erfolgte die Auswahl der Zahnfarbe der Schmelzproben bei Tageslicht und auf einem schwarzen Hintergrund. So wurden täglich vergleichbare Bedingungen geschaffen.

Zur Auswertung der mithilfe des Vitapan 3D-Masters ermittelten Zahnfarben wurden diese wieder in ihre Einzelinformationen (3 Farbdimensionen) aufgeschlüsselt und in ganzen Zahlen ausgedrückt. Die Farbhelligkeitsstufen wurden mit den Werten 1 (hell) bis 5 (dunkel) benannt, wie es auch das Vita-System vorsieht (Abb. 19).



Abb. 19: Graphische Darstellung der Farbhelligkeitsstufen. Die Helligkeitsstufen bewegen sich von 1 (= hell) bis 5 (= dunkel) (Vita System 3D-Master® Produktinformation).

Die Intensität wurde durch die Stufen 1 (blass) bis 5 (satt) ausgedrückt. Hier wurde die Farbverschlüsselung des Vitapan 3D-Masters®, welche die Stufen als 1, 1,5, 2, 2,5 und 3 benennt, vereinfachend in ganze Zahlen umbenannt (Abb. 20).

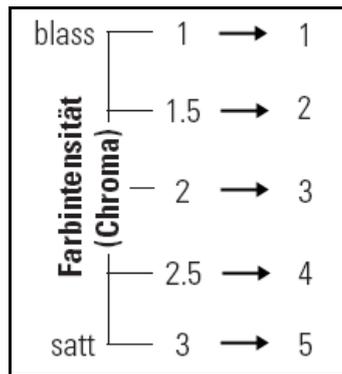


Abb. 20: Graphische Darstellung der Farbtintensitätsstufen. Die ursprünglich beim Vitapan 3D-Master® als 1; 1,5; 2; 2,5 und 3 benannten Stufen von blass nach satt werden in der Auswertung dieser Studie als ganze Zahlen zwischen 1 und 5 bezeichnet. Die Ursprungszahlen sind links der Pfeile, die neu benannten Stufen rechts der Pfeile sichtbar (modifiziert nach Vita System 3D-Master® Produktinformation).

Beim Farbton wurden für die Auswertung die Stufen 1 bis 3 unterschieden, wobei die Stufe 1 der Bezeichnung L des Vitapan 3D-Masters® entspricht. Es handelt sich um einen gelblichen Farbton. Die Stufe 2 entspricht der Bezeichnung M des Vitapan 3D-Masters®, einem mittleren/neutralen Farbton. Die Stufe 3 steht für die Bezeichnung R des Vitapan 3D-Masters®, wobei es sich um einen rötlichen Farbton handelt (Abb. 21).

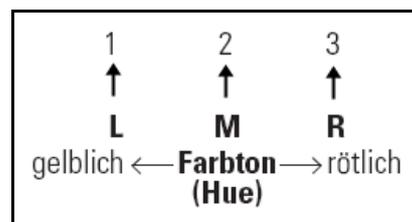


Abb. 21: Darstellung der Farbtonstufen. Der gelbliche Farbton wird im Vita 3D-System® mit L bezeichnet, in dieser Studie wird der gelbliche Farbton durch die 1 codiert. Der neutrale Farbton wird nach Vita® mit M, hier durch die 2 dargestellt und der rötliche Farbton wird anstatt durch das R (Vita®) durch die 3 symbolisiert (modifiziert nach Vita System 3D-Master® Produktinformation).

2.3 Versuchsplanung

2.3.1 Versuchsdesign

		Arbeitsschritte	
Vorbereitende Maßnahmen	Vorlaufzeit	Herstellung der 20 Schmelzproben Reinigung der Schmelzproben Herstellung des künstlichen Speichels Farbbestimmung	
Bleichvorgang	Tag 1 bis 14	Tagesablauf	
		7:45 – 7:55 Uhr	Steriles Filtrieren des künstlichen Speichels
		7:55 – 8:00 Uhr	Entnahme der Proben aus dem Speichel
		8:00 – 8:05 Uhr	Auftragen des Bleichgels
		8:05 – 8:20 Uhr	Einwirkzeit des Bleichgels im Wärmeschrank bei 37°C
		8:20 – 8:25 Uhr	Entfernen des Bleichgelkebefilms von der Schmelzoberfläche
		8:25 – 15:40 Uhr	Lagerung der Schmelzproben in künstlichem Speichel (frisch filtriert)
		15:55 – 16:00 Uhr	Entnahme der Proben aus dem Speichel
		16:00 – 16:05 Uhr	Auftragen des Bleichgels
		16:05 – 16:20 Uhr	Einwirkzeit des Bleichgels im Wärmeschrank bei 37°C
		16:20 – 16:25 Uhr	Entfernen des Bleichgelkebefilms auf der Schmelzoberfläche
		16:30 – 16:40 Uhr	Farbbestimmung
		16:40 – 7:55 Uhr	Lagerung der Schmelzproben in künstlichem Speichel
Fluoridierung	Tag 14	Abdichten der Flächen 1 und 4 mit Silikon Auftragen von elmex fluid, 30s Einwirkzeit, Abspülen mit Aqua bidest Farbbestimmung Lagerung in künstlichem Speichel	
pH-Cycling	Tag 15 – 24	Tagesablauf	
		09:45 Uhr	Füllen der Kammern mit Lösung I
		10:00 Uhr	Abspülen der Schmelzproben mit Aqua bidest, Umbetten in die saure Lösung I und Überführung der Proben in den Wärmeschrank
		15:45 Uhr	Füllen der Kammern mit Lösung II
	16:00 Uhr	Abspülen der Schmelzproben mit Aqua bidest, Umbetten in Lösung II neutralen pH-Wertes und Überführung der Proben in den Wärmeschrank	
	Tag 24	Farbbestimmung	
REM	Tag 24 – 25	Trockenfallen von 10 der Schmelzproben (für 24 Stunden) Sputtern dieser Proben	
	Nachbereitung	REM-Analyse und REM-Auswertung	
	Nachbereitung	Chi-Quadrat-Auswertung	

Tab. 1: Darstellung des zeitlichen Ablaufs und der Arbeitsschritte – der Vorbereitung, des Bleichvorgangs, der Fluoridierung des pH-Cyclings, der REM-Betrachtung und der Auswertung – zur Behandlung und Untersuchung der Schmelzproben.

Der Versuchsaufbau ist in fünf Teile untergliedert (Tabelle 1). Zur Vorbereitung wurden zunächst 20 Schmelzproben aus extrahierten Frontzähnen hergestellt. Sie wurden gereinigt und anschließend einer Farbbestimmung unterzogen. Außerdem wurde künstlicher Speichel hergestellt. Darauf erfolgte im zweiten Versuchsteil der Bleichvorgang. Über 14 Tage wurden zwei Flächen der Schmelzproben zweimal täglich mit einem 8-stündigen Zeitabstand einer Bleichbehandlung mit dem Bleichgel Simply White® von Colgate unterzogen. Einmal täglich wurde der künstliche Speichel erneuert. Der genaue zeitliche Ablauf lässt sich Tabelle 1 entnehmen. Der dritte Versuchsteil bestand in der Fluoridierung zweier Flächen der Schmelzproben. Dazu wurden zunächst die anderen Flächen mit Silikon abgedeckt. Darauf folgte die Fluoridierung und anschließend eine Farbbestimmung. Im vierten Teil des Versuchsaufbaus wurde ein pH-Cycling angeschlossen. Dabei wurden die Schmelzproben über einen Zeitraum von 10 Tagen täglich der Einwirkung zweier verschiedener Lösungen mit saurem bzw. neutralem pH-Wert unterzogen. Nach der 10-tägigen Periode des pH-Cyclings wurde erneut eine Farbbestimmung durchgeführt. Im letzten Versuchsteil erfolgte die rasterelektronenmikroskopische Betrachtung der Schmelzproben nach Trocknung und Sputtern.

2.3.2 Auswahl und Vorbereitung der Schmelzproben

Aus extrahierten, zufällig ausgewählten Frontzähnen, die vorübergehend in physiologischer NaCl-Lösung mit Natriumacid (0,01‰) gelagert worden waren, wurden aus der Vestibularfläche der Zähne 3x3 mm (Länge x Breite) große Schmelzproben mit einer Höhe von 2 mm mittels einer diamantierten Trennscheibe gewonnen. Die entsprechende Schmelzoberfläche wurde durch ein Sägekrenz (oberflächlicher Sägeschnitt) in vier Flächen unterteilt. Zur besseren Handhabung wurden die Schmelzpräparate in Kunststoff eingebettet; die Schmelzoberfläche lag dabei frei.

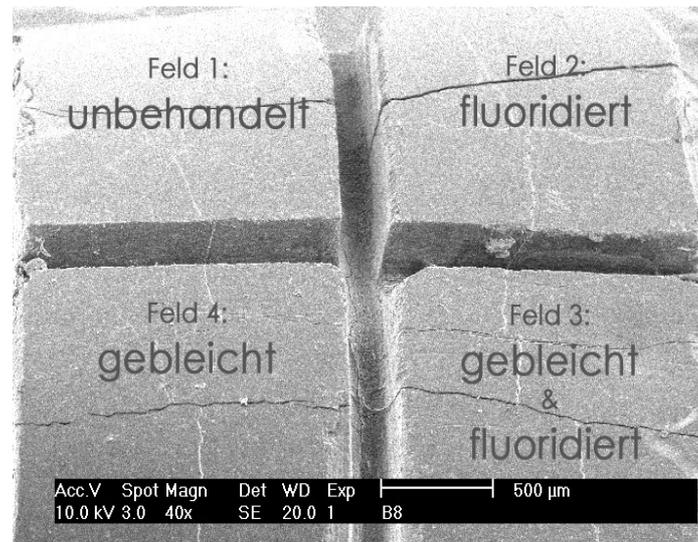


Abb. 22: REM-Darstellung mit 40facher Vergrößerung einer Probe mit ihren 4 Feldern und die vorgesehenen Behandlungsmaßnahmen für die jeweiligen Felder - (Kontrolle, fluoridiert, gebleicht & fluoridiert und nur gebleicht) sind markiert.

Die Testfelder auf dem Schmelzblöckchen sollten verschiedenartig behandelt werden:

1. Eine unbehandelte Fläche wurde als Kontrollgruppe vorgesehen.
2. Ein Feld sollte einmalig mit elmex® fluid behandelt werden.
3. Ein weiteres Feld sollte über einen Zeitraum von 14 Tagen 2x täglich für 15 Minuten mit dem Bleichgel Colgate Simply White® behandelt werden.
4. Das letzte Feld sollte mit dem Bleichgel Colgate Simply White® sowie nach dem Behandlungszyklus einmalig mit elmex® fluid beschickt werden.

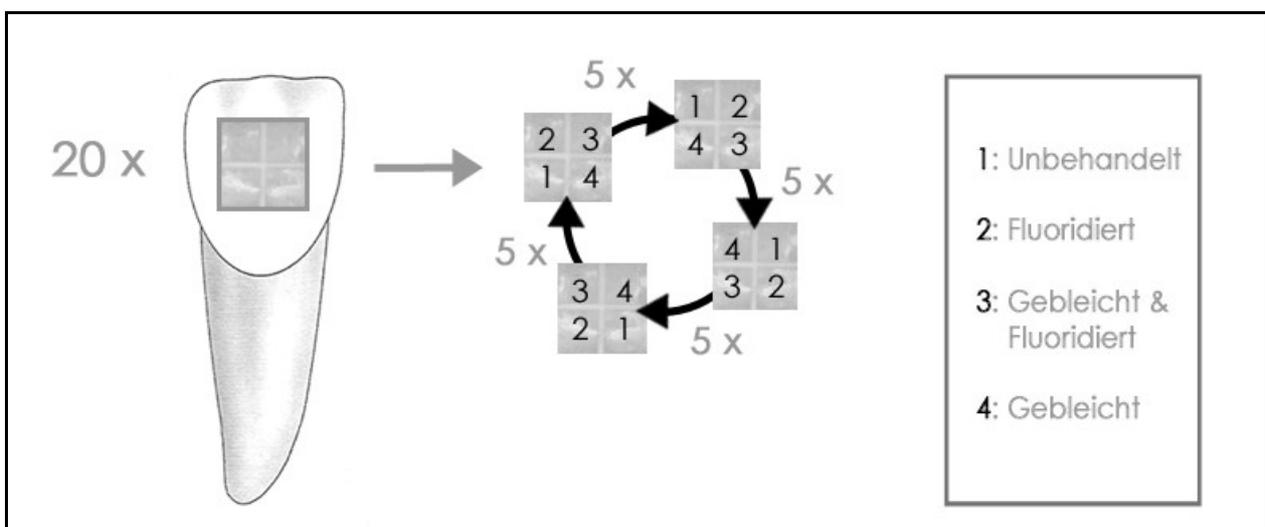


Abb. 23: Darstellung eines Frontzahns mit einer entnommenen Schmelzprobe, welche bei den 20 Proben nach dem abgebildeten Schema einer rotierenden Felderbezeichnung und entsprechenden Behandlungen unterzogen werden.

Um auszuschließen, dass regional unterschiedliche Schmelzgegebenheiten, v.a. in zervicoincisaler Richtung, über die 3x3 mm Fläche Einfluss auf die Ergebnisse nehmen, wurde das Schmelzpräparat aus der Mitte der Vestibularfläche des Zahnes entnommen. Die entsprechend zu behandelnden Felder rotierten bei den 20 Proben im Uhrzeigersinn, sodass jede Fläche oben links, oben rechts, unten rechts und unten links jeweils fünfmal auf die vier verschiedenen Arten behandelt wurde (Abb. 23). Denn wie rasterelektronenmikroskopische Bilder unterschiedlicher Schmelzproben aus verschiedenen Bereichen (zervikal, zentral und kuspidal) der vestibulären Zahnfläche im Rahmen einer früheren Bleichstudie zeigten, gibt es eine große Variationsbreite der Oberflächenmorphologie des Schmelzes auf der Zahnoberfläche (Spalding, 2003).

Zur späteren Wiedererkennung wurde das Feld 1 jeweils auf dem Kunststoffbett der Schmelzprobe markiert (Abb. 24).

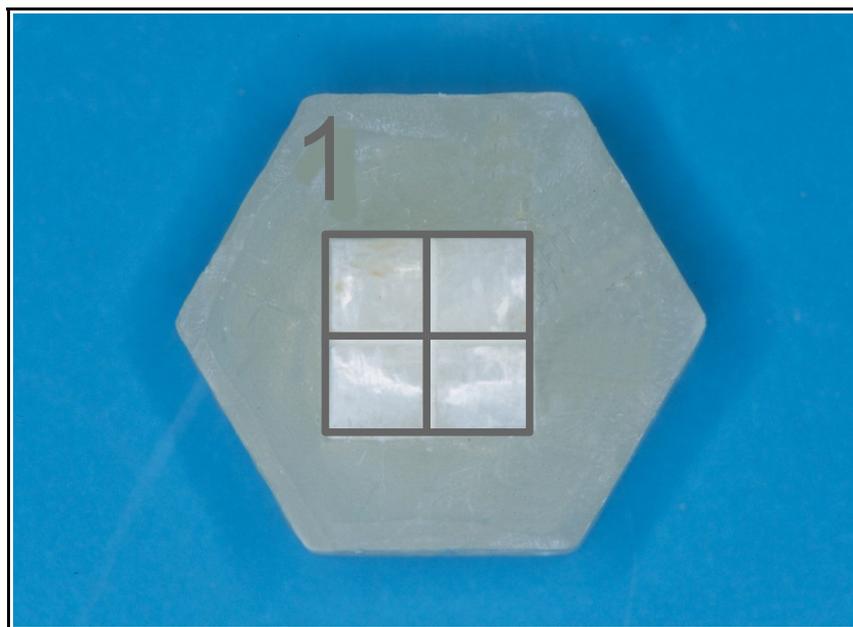


Abb. 24: Darstellung einer in 4 Flächen unterteilten und auf einen Kunststoffsockel befestigten Schmelzprobe.

2.3.3 Vorbehandlung und Lagerungsmedium

Die 20 Schmelzproben wurden einer niedertourigen (8000 U/min) Reinigung mittels Ziegenhaarbürstchen auf grünem Winkelstück, Klint® Paste, einer bewusst gewählten fluoridfreien Zahnreinigungspaste, und Wasser unterzogen.

Zur weiteren Lagerung der Schmelzproben wurde künstlicher Speichel hergestellt. Dieses Lagerungsmedium wurde alle 3 Tage neu hergestellt und die täglich benötigte Menge

wurde jeweils vor Verwendung steril filtriert. Die genaue Zusammensetzung der einzelnen Bestandteile dieses Mediums ist Tab. 2 zu entnehmen. Der pH-Wert des Speichels betrug pH 6,72.

Komponente	Konzentration	pro 100 ml aqua dest
Trypton	0,5 %	0,5 g
Proteosepton	1,0%	1 g
Hefeextrakt	0,5%	0,5 g
Kaliumchlorid	0,25%	0,25 g
Schweinemagenmuzin	0,25%	0,25 g
Hemin	5 mg/l	0,0005 g
Menadion	1 mg/l	0,0001 g
Harnstoff	1 mmol/l	0,006 g
Arginin	1 mmol/l	0,02107 g

Tab. 2: Zusammensetzung des als Speichermedium für die Schmelzproben verwendeten künstlichen Speichels nach Sissons et al., 1991.

Jede Schmelzprobe wurde, wie Abb. 12 zeigt, isoliert in einer sterilen Kammer gelagert. Pro Schmelzprobe wurden 0,5 ml des steril filtrierten Speichels in die 20 Aufbewahrungskammern pipettiert (Abb. 25). Die Lagerung der Schmelzproben in künstlichem Speichel sollte dazu dienen, eine Pellikelstruktur auf der Schmelzoberfläche zu erzielen und dadurch die Verhältnisse in der Mundhöhle möglichst genau nachzustellen.

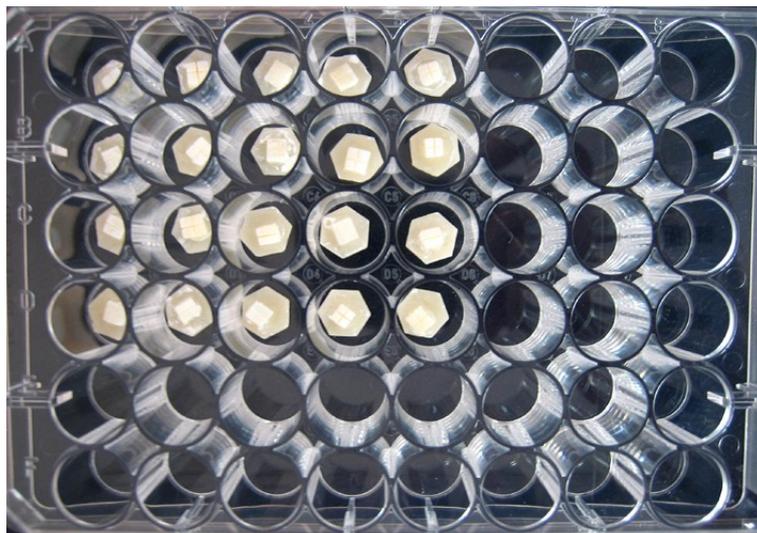


Abb. 25: Probenlagerung in den sterilen Kammern der Multiwellplatte.

2.3.4 Bleichvorgang

Die Flächen 3 und 4 der 20 Schmelzproben wurden zweimal täglich, um 8:00 Uhr morgens und um 16:00 Uhr nachmittags, mit dem Bleichgel beschickt. Dabei sollte der Zeitraum von 8 Stunden zwischen 8:00 Uhr morgens und 16:00 Uhr nachmittags die durchschnittliche Schlafenszeit eines potenziellen Bleichgelbenutzers simulieren, während der Zeitraum von 16 Stunden zwischen 16:00 Uhr nachmittags und 8:00 Uhr morgens den Tag simulierte. Denn nach Anwendebeschreibung der Firma Colgate® soll das Bleichmittel zweimal täglich, einmal morgens und einmal abends, 14-tägig angewendet werden.

Die Proben wurden zur Bleichbehandlung aus dem Speichermedium, dem künstlichen Speichel, entnommen. Um das Bleichgel auf die Schmelzproben präzise auftragen zu können, wurden rote Schwämmchenspitzen als Applikationshilfe verwendet. Es wurde eine Schichtdicke von 0,5 mm auf eine Hälfte einer jeden Schmelzprobe, das heißt auf die zu bleichenden Flächen 3 und 4 aufgetragen. Die mit dem Bleichgel beschickten Proben wurden jeweils für 15 Minuten in einen Wärmeschrank mit einer konstanten Temperatur von 37°C gestellt. Nach dessen Einwirkzeit wurde das Bleichgel, welches wie ein Klebefilm auf der Schmelzfläche haftete, mit Papierspitzen vollständig abgestrichen, worauf die Schmelzproben zur Lagerung zurück in den sterilen Speichel und in den Kühlschrank gelegt wurden. Dieser Vorgang wurde entsprechend 28-mal über 2 Wochen zweimal täglich wiederholt.

Einmal täglich wurden jeweils um 16:30 Uhr die Felder der Schmelzproben vor der erneuten Behandlung mit Bleichgel einer Farbbestimmung mit dem Vita-3D-System® unterzogen.

2.3.5 Fluoridierung

Nach Abschluss der 28 Bleichgelanwendungen wurden die Flächen 1 und 4 mit Silikon abgedeckt, um diese gegenüber dem auf die Flächen 2 und 3 aufzutragenden elmex® fluid abzudichten. Das elmex® fluid wurde mit einer Pinselspitze auf die Schmelzflächen aufgetragen und nach einer zweiminütigen Einwirkzeit im Wärmeschrank bei 37°C mit 2 ml Aqua bidest pro Probe abgesprüht. Anschließend wurde das Silikon zur Abdeckung der nicht zu fluoridierenden Schmelzflächen wieder entfernt.

Daraufhin erfolgte eine Farbbestimmung der Schmelzproben und sie wurden zur Lagerung wieder in künstlichen Speichel überführt.

Am darauffolgenden Tag wurde ein ph-Cycling angeschlossen.

2.3.6 pH-Cycling

Für das pH-Cycling wurden vorbereitend zwei unterschiedliche Puffer mit verschiedenen pH-Werten angesetzt: Ein Acetat Puffer mit einem sauren pH-Wert von 4,4 und ein Kakodylat Puffer mit einem neutralen pH-Wert von 7,4. Beide Puffer wurden mit verschiedenen Zusätzen versetzt.

Die Zusammensetzung der Lösung 1, das heißt des Acetatpuffers mit genauen Mengenangaben auch der entsprechenden Zusätze, ist in Tabelle 3 aufgeführt.

Bestandteile des Acetatpuffers	Menge	pH-Wert	Zusätze zum Acetatpuffer	Menge	pH-Wert
Stammlösung A =Natriumacetat	100 ml	4,3	CaCl ₂ x 2 H ₂ O	0,094 g	4,4
Stammlösung B =Essigsäure	220 ml		Na ₃ PO ₄	0,2432 g	

Tab. 3: Aufstellung der Bestandteile der für das pH-Cycling verwendeten Lösung 1. Der Grundbestandteil ist ein Acetatpuffer mit einem pH-Wert von 4,3, der sich aus der Stammlösung A und B zusammensetzt. Diesem werden in den angegebenen Mengen Calciumchlorid, Wasser und Natriumphosphat hinzugefügt. Der dadurch veränderte pH-Wert beträgt 4,4.

Tabelle 4 zeigt die Zusammensetzung der Lösung 2 mit genauen Mengenangaben des Kakodylatpuffers und der entsprechenden Zusätze.

Bestandteile des Kakodylatpuffers	Menge	Titration mit	Auf den pH-Wert von	Zusätze zum Kakodylatpuffer	Menge	pH-Wert
Aqua dest	250 ml	HCl	7	CaCl ₂ x 2 H ₂ O	0,055 g	7,4
Kakodylatsäure	1,07 g			Na ₃ PO ₄	0,0855 g	
				KCl	2,796 g	

Tab. 4: Aufstellung der Bestandteile der für das pH-Cycling verwendeten Lösung 2. Grundbestandteil ist ein Kakodylatpuffer, der mit HCl auf den pH-Wert von 7 titriert wird. Dem Puffer werden die Zusätze Calciumchlorid, Natriumphosphat und Kaliumchlorid beigefügt, worauf der pH-Wert 7,4 beträgt.

Die Einwirkung der verschiedenen pH-Werte auf die Schmelzflächen sollen die im Mund durch Nahrungsaufnahme (Kohlenhydrate) ausgelösten pH-Schwankungen simulieren. Der saure Acetatpuffer bildet eine Demineralisationsphase nach, während der Kakodylatpuffer mit dem entsprechenden neutralen pH-Wert und den im Speichel vorkommenden

und hier im Puffer zugesetzten Phosphat-, Calcium- und Kaliumionen die Remineralisationsphase darstellen soll.

Das pH-Cycling wurde über einen Zeitraum von 10 Tagen durchgeführt. Die Wirkung der Lösung I mit dem sauren pH-Wert von 4,4 wurde auf 6 Stunden des Tages festgelegt, während der neutrale pH-Wert von 7,4 über eine Dauer von 18 Stunden des Tages wirken sollte.

Die Schmelzproben wurden 18 Stunden nach Abschluss des letzten Bleichens und der Behandlung mit elmex® fluid aus dem künstlichen Speichel entfernt, mit 5 ml Aqua bidest pro Probe abgespült. Anschließend begann der Zyklus des pH-Cyclings.

Die Proben wurden jeweils einzeln in kleine sterile Kammern, die mit je 0,5 ml der entsprechenden Lösung I bzw. II befüllt waren, gelegt. So konnte sichergestellt werden, dass jede Schmelzprobe der Einwirkung der gleichen Menge der Lösung ausgesetzt und von Flüssigkeit bedeckt war.

Während der vorgesehenen Einwirkzeit der jeweiligen Lösung wurden die Kammern mit den Proben in den Wärmeschrank gestellt und dort bei einer konstanten Temperatur von 37°C entsprechend der Körpertemperatur aufbewahrt.

Vor dem Umbetten einer Schmelzprobe von einer Lösung in die andere wurde diese jeweils mit 5 ml Aqua bidest abgespült.

Urzeit	Arbeitsschritte
09:45 Uhr	Füllen der Kammern mit Lösung I
10:00 Uhr	Abspülen der Schmelzproben mit Aqua bidest, Umbetten in Lösung I und Überführung der Proben in den Wärmeschrank
15:45 Uhr	Füllen der Kammern mit Lösung II
16:00 Uhr	Abspülen der Schmelzproben mit Aqua bidest, Umbetten in Lösung II und Überführung der Proben in den Wärmeschrank

Tab. 5: Zeitlicher Ablauf der Arbeitsschritte beim pH-Cycling.

Der Zyklus des pH-Cyclings begann mit Lösung I (pH 4,4), der die Schmelzproben für 6 Stunden im Wärmeschrank ausgesetzt waren. Anschließend verweilten die Proben für 18 Stunden in Lösung II. Dieser Zyklus wurde über einen Zeitraum von 10 Tagen täglich wiederholt. Der genaue zeitliche Ablauf ist Tab. 5 zu entnehmen.

Dieses Prozedere des pH-Cyclings entspricht der Vorgehensweise, die auch bei Featherstone et al., 1990 Anwendung gefunden hat.

Nach Ablauf des 10-Tage-Zyklus wurden die Schmelzproben einer erneuten Farbbestimmung mit dem Vita[®]-3D-System unterzogen.

Nach Abspülen mit jeweils 5 ml Aqua bidest wurden 10 der Schmelzproben trockenfallen gelassen. Sie wurden in trockene Kammern gelegt und dort zum Schutz vor Staub mit einem Deckel abgedeckt, wobei ein Spalt für die Luftzirkulation belassen wurde. Unter dem Abzug lagen die Schmelzproben so für 24 Stunden bis zur vollständigen Austrocknung.

Die übrigen 10 Schmelzproben wurden mit jeweils 5 ml Aqua bidest abgespült und zur Lagerung in Aqua bidest gelegt.

2.3.7 REM-Analyse

Die getrockneten Schmelzproben wurden für die Betrachtung mit dem Rasterelektronenmikroskop auf REM-Tellern von 25 mm Durchmesser, die mit leitfähigen Haftaufklebern beklebt waren, befestigt. Es wurden 3 Teller genutzt, wobei auf dem ersten die Proben 1-4, auf dem zweiten die Proben 5-8 und auf dem dritten Teller die Proben 9 und 10 fixiert wurden.



Abb. 26: Sputtergerät Scancoat six von Edwards.



Abb. 27: Gesputterte Schmelzproben auf REM-Teller.

Die Teller mit den Schmelzproben wurden für eine Dauer von 45 s unter Vakuum mit einem Platin-Gold-Gemisch gesputtert. Das entsprechende Gerät ist in Abb. 26 dargestellt. Die gesputterten Schmelzproben auf den beschriebenen REM-Tellern sind in Abb. 27 zu sehen.

Anschließend wurden die Proben unter dem REM beurteilt.



Abb. 28: Rasterelektronenmikroskop XL von Philips®.

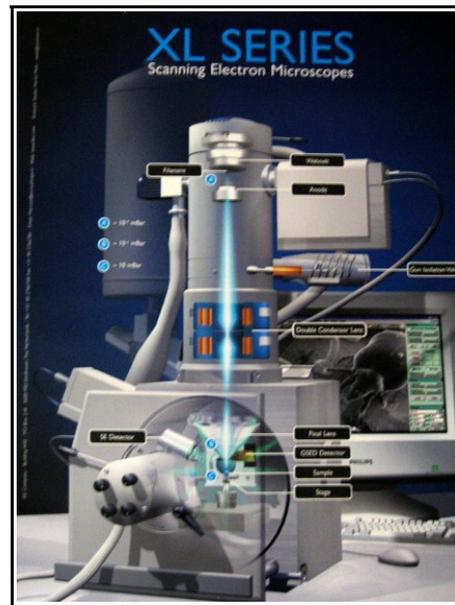


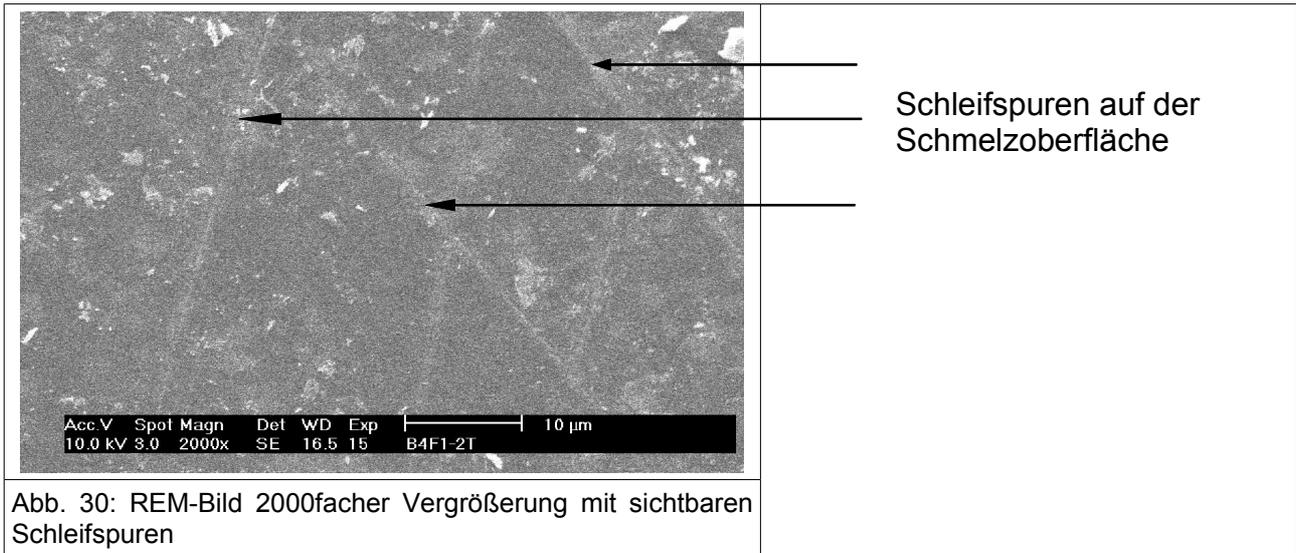
Abb. 29: Schematische Darstellung eines Rasterelektronenmikroskops der XL Serie von Philips®.

Ein entsprechendes Gerät ist in Abb. 28/29 zu sehen. Es wurden Bilder in 40-, 2000- und 4000facher Vergrößerung angefertigt.

Charakteristische Merkmale, die sich in den rasterelektronenmikroskopischen Bildern zeigen und wiederholen, sind

- Schleifspuren
- Detritus
- Prismenstrukturen und
- Trocknungsartefakte,

(Abb. 30-33).



In Abb. 30 sind helle, linienförmige Vertiefungen im Sinne von Schleifspuren beispielhaft mit Pfeilen markiert.

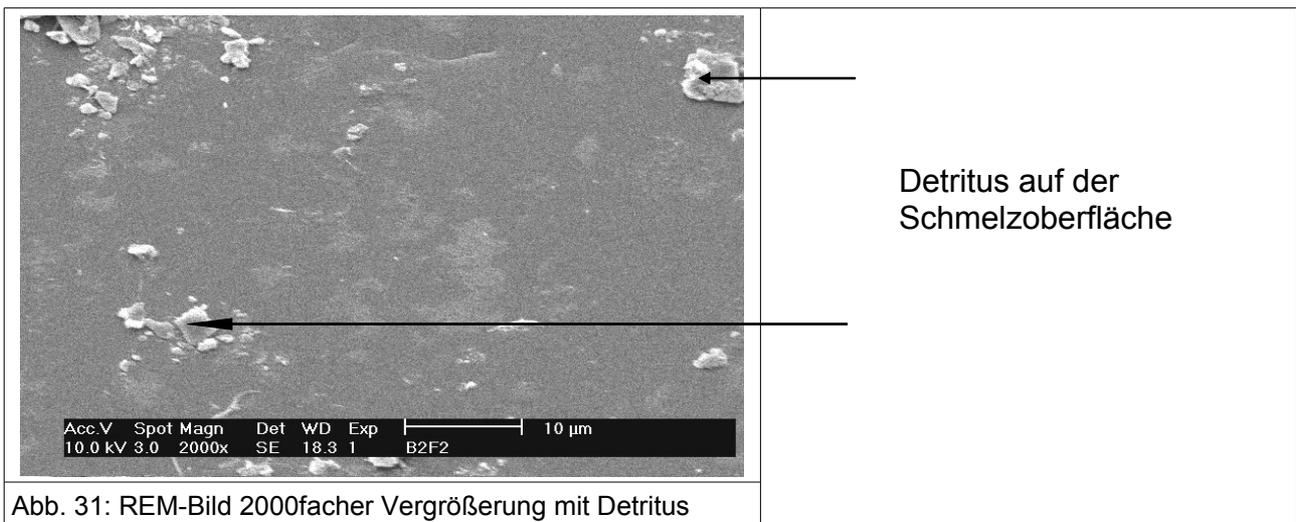
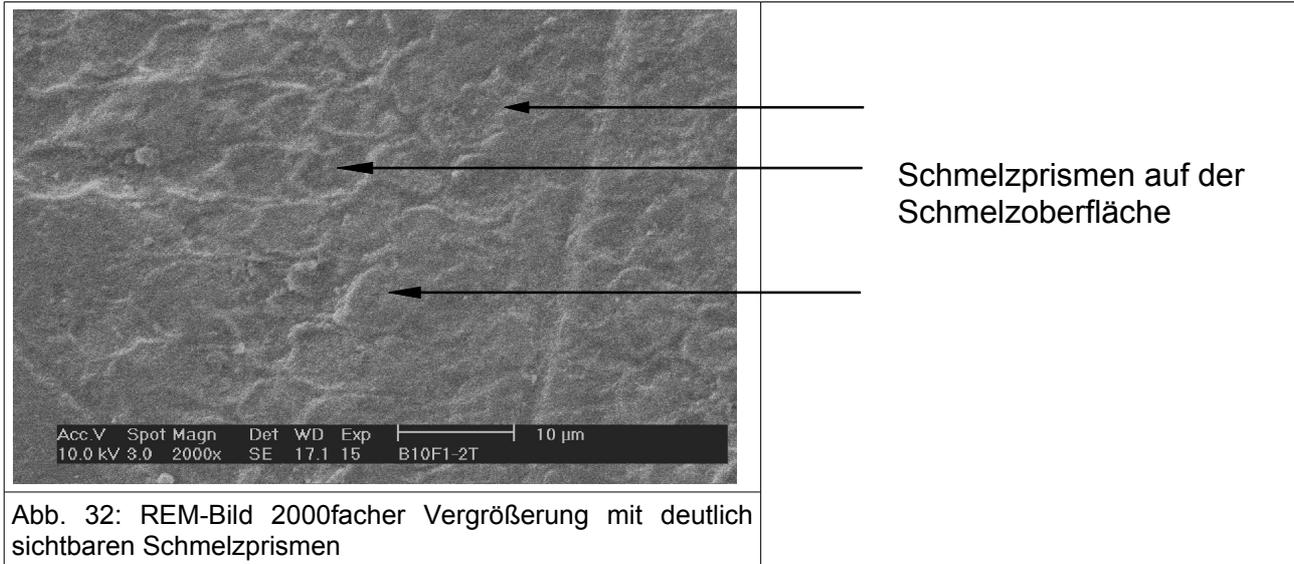


Abb. 31 zeigt durch Pfeile markierte, unregelmäßig geformte, helle Auflagerungen verschiedener Größe im Sinne von Detritus, der der Schmelzoberfläche aufliegt.



In Abb. 32 ist ein regelmäßiges wabenförmiges Muster zu sehen. Einzelne wabenförmige Elemente, die einzelne Schmelzprismen der Schmelzprismenstruktur darstellen, sind mit Pfeilen markiert.

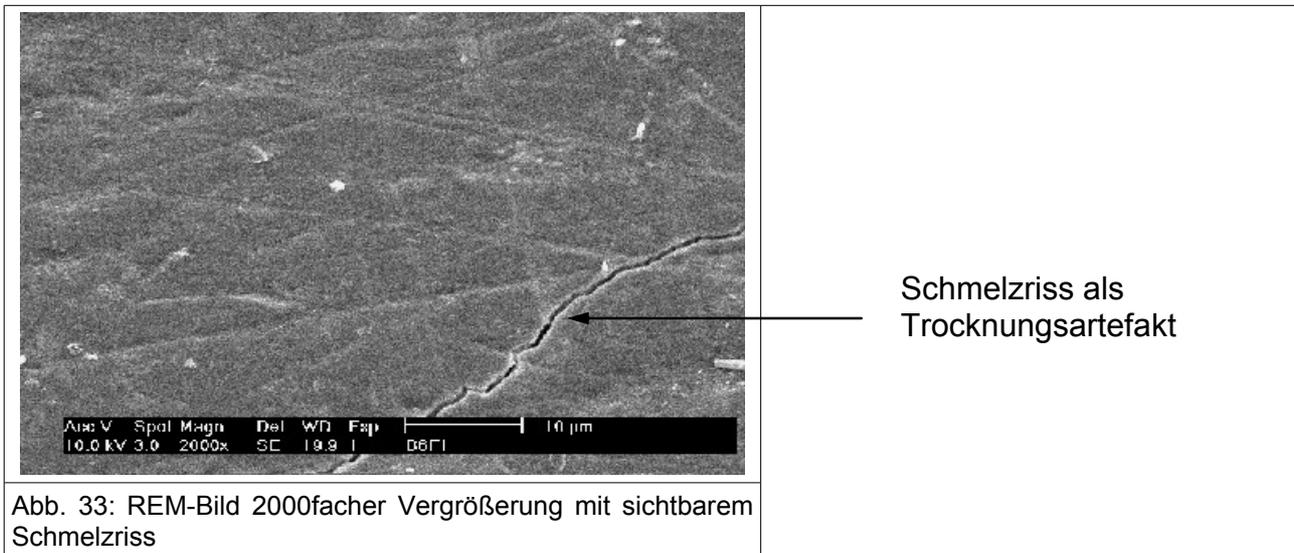


Abb. 33 zeigt eine schwarz gefärbte und weiß umrandete, gezackte Linie, auf die durch einen Pfeil hingewiesen wird. Es handelt sich um einen Schmelzriss, der als Trocknungsartefakt zu werten ist.

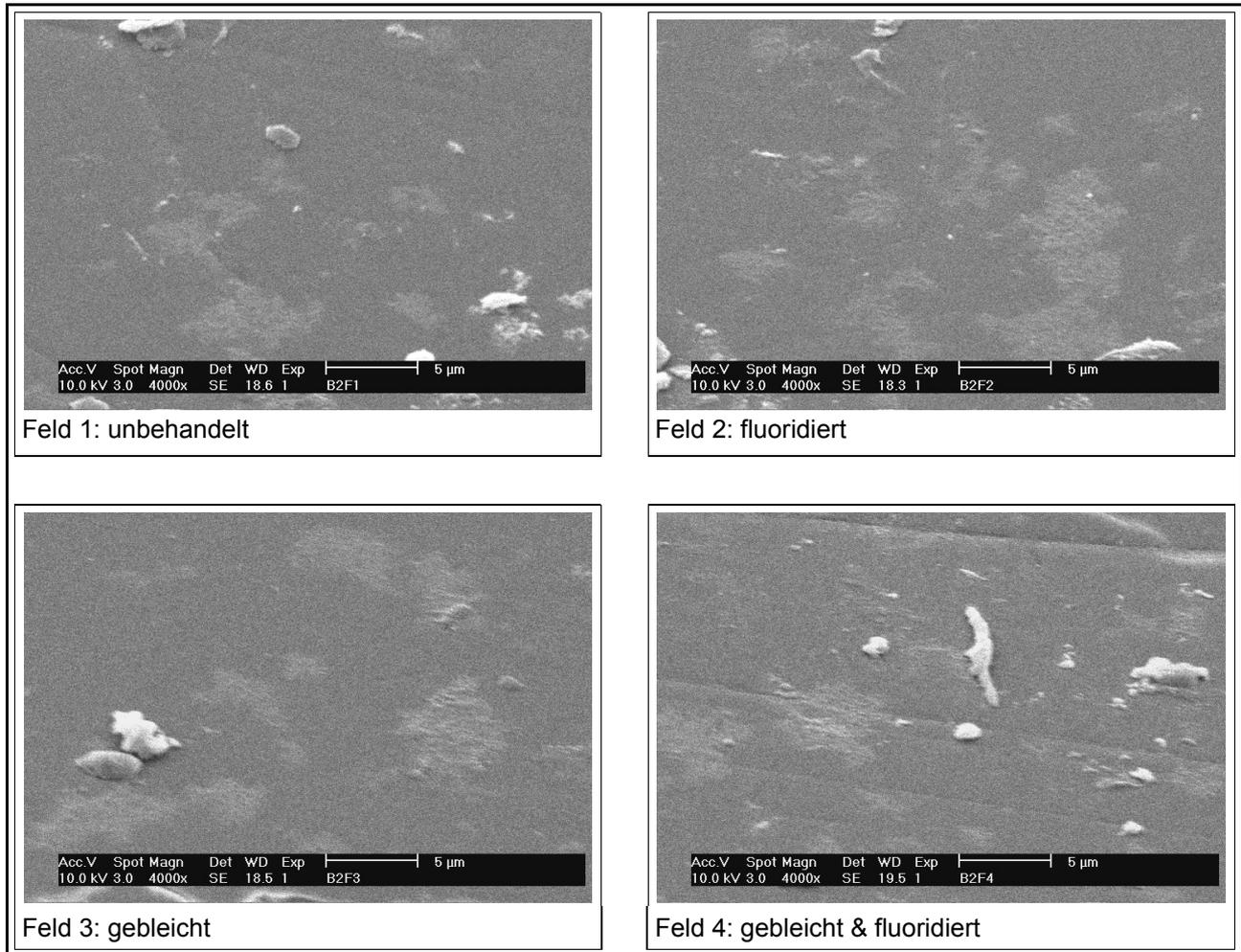


Abb. 34: REM-Darstellung in 4000facher Vergrößerung der vier unterschiedlich behandelten Felder der Schmelzproben. Die vier Bilder zeigen eine ähnliche, glatte Oberflächenmorphologie und es sind auf allen Bildern artefizielle Auflagerungen sichtbar.

In Abb. 34 sind die vier unterschiedlich behandelten Felder der Schmelzprobe 2 in 4000facher Vergrößerung zu sehen.

Das REM-Bild des Feldes 1, welches eine unbehandelte Schmelzoberfläche raster-elektronenmikroskopisch abbildet, zeigt eine homogene Graufärbung mit einigen unterschiedlich und unregelmäßig geformten, fleckartigen, helleren flächigen Bezirken von etwa 2-5 µm Durchmesser, die sich farblich nur leicht von der Grundfärbung abheben.

Neben diesen Strukturen fallen vergleichsweise wesentlich heller gefärbte längliche bis ovale Strukturen auf, deren Größe zwischen 1,5 µm und 3 µm Durchmesser variieren. Die Färbung lässt darauf schließen, dass die Strukturen auf der Schmelzoberfläche aufgelagert sind. Es handelt sich um Artefakte.

Die REM-Bilder des Feldes 2, welches fluoridiert wurde, sowie des Feldes 3, welches einer Bleichbehandlung unterzogen wurde, und des Feldes 4, welches gebleicht und fluo-

ridiert wurde, unterscheiden sich bezüglich der beschriebenen Elemente des REM-Bildes des Feldes 1 nicht.

Im REM-Bild des Feldes 3 ist am Bildrand zusätzlich eine helle linienförmige Struktur im Sinne des Randbereichs eines Schmelzrisses als Trocknungsartefakt zu sehen.

Im REM-Bild des Feldes 4 treten zwei parallele linienförmige Vertiefungen im Sinne von Schleifspuren auf.

Im direkten Vergleich der REM-Bilder ist zu sehen, dass die Oberfläche unabhängig von der entsprechenden Vorbehandlung der verschiedenen Felder eine vergleichbare Struktur aufweist.

2.3.8. Statistische Auswertung

Die Ergebnisse in Bezug auf die Oberflächenmorphologie der Schmelzproben wurden mit dem Chi-Quadrat-Test ausgewertet. Diese Form der statistischen Auswertung wurde ausgewählt, um die Hypothese eines Zusammenhangs zwischen den Behandlungsweisen der Schmelzprobenfelder und dem Vorkommen der untersuchten Strukturmerkmale zu beweisen bzw. zu widerlegen. Das Signifikanzniveau wurde auf 5% festgelegt.

Um eine stochastische Unabhängigkeit der Behandlungsweisen der Schmelzprobenfelder vom Auftreten der verschiedenen Strukturmerkmale zu beweisen, muss der Chi-Quadrat-Wert bei drei Freiheitsgraden unter 7,81 liegen. Die drei Freiheitsgrade ergeben sich aus der Unterscheidung der 4 Schmelzprobenfelder (1. Variable) und der Einteilung in die 2 Möglichkeiten des Vorkommens bzw. Nichtvorkommens der Merkmale (2. Variable).

$$\text{Anzahl der Freiheitsgrade} = (1. \text{ Variable}-1) \times (2. \text{ Variable}-1) \triangleq (4-1) \times (2-1) = 3 \times 1 = 3$$

Die Auswertung der Farbveränderungen erfolgte durch Mittelwertbestimmung, wobei die drei Farbdimensionen separat betrachtet wurden. Zusätzlich wurde die Standardabweichung bestimmt.

3 Ergebnisse

3.1 Farbveränderung der Schmelzproben

Über den Zeitraum des 14-tägigen Bleichprozesses der Schmelzproben sowie im Laufe des pH-Cyclings ergab die Farbbeurteilung bei isolierter Betrachtung der vier Einzelfelder zunächst einmal keine Farbentwicklung der unbehandelten und der fluoridierten Schmelzflächen der anderen Schmelzfelder. Auch zwischen den Schmelzflächen, die gebleicht bzw. gebleicht und fluoridiert wurden, gab es keine sichtbaren Farbunterschiede, sodass die an den Proben bestimmten Zahnfarben in den folgenden Ergebnissen jeweils für die zwei mit Bleichgel behandelten Flächen gelten, sowohl für die Schmelzfläche, die nur dem Bleichprozess unterzogen wurde, als auch für die Fläche, die zusätzlich fluoridiert wurde. Viele der Schmelzproben zeigten im Laufe der Bleichbehandlung eine deutliche Änderung der Zahnfarbe. Um diese Änderung der Zahnfarbe besser vergleichen zu können und messbar zu machen, werden die drei Zahnfarbkomponenten Helligkeit, Intensität und Farbton im Folgenden isoliert betrachtet.

Die Helligkeit umfasst ein Stufenspektrum von Stufe 1 (hell) bis Stufe 5 (dunkel).

Die Intensität beschreibt ebenfalls ein Stufenspektrum von Stufe 1 (blass) bis Stufe 5 (satt). Hier wurde die Farbverschlüsselung des Vitapan 3D-Masters[®], welche die Stufen als 1, 1,5, 2, 2,5 und 3 benennt, vereinfachend in ganze Zahlen umbenannt.

Beim Farbton werden 3 Stufen unterschieden, wobei die Stufe 1 der Bezeichnung L des Vitapan 3D-Masters[®] entspricht. Es handelt sich um einen gelblichen Farbton. Die Stufe 2 entspricht der Bezeichnung M des Vitapan 3D-Masters[®], einem mittleren/neutralen Farbton. Die Stufe 3 steht für die Bezeichnung R des Vitapan 3D-Masters[®], wobei es sich um einen rötlichen Farbton handelt.

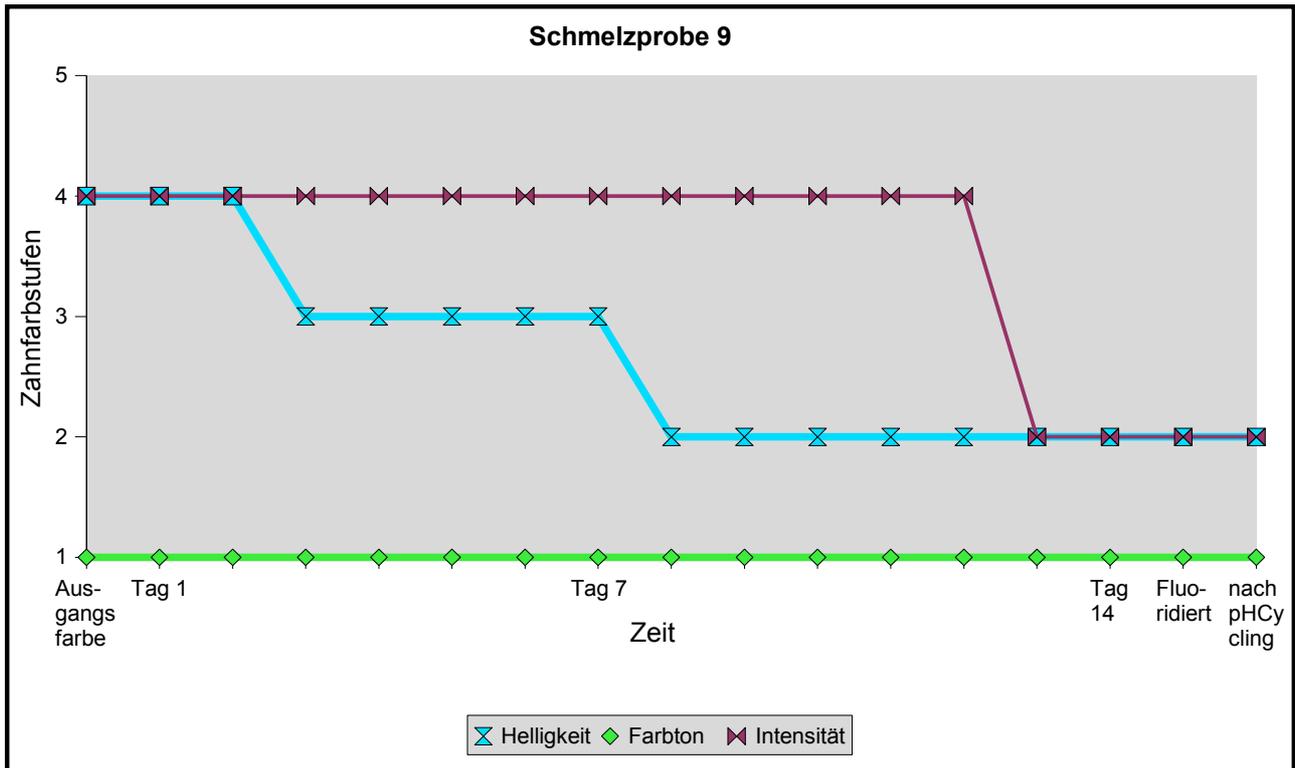


Abb.35: Entwicklung der Zahnfarbe der Schmelzprobe 9 in den drei Komponenten Helligkeit, Intensität und Farbton über den 14-tägigen Aufhellungsprozess und das pH-Cycling. Helligkeit und Intensität verändern sich in Richtung einer niedrigeren Stufe, während sich der Farbton nicht verändert.

Die Abb. 35 zeigt anhand der Schmelzprobe 9 beispielhaft den Verlauf der drei untersuchten Farbdimensionen der Helligkeit, des Farbtons und der Intensität. Es ist die Entwicklung über den 14-tägigen Bleichprozess und die anschließende Fluoridierung sowie über das pH-Cycling dokumentiert.

Der zeitliche Verlauf wird auf der x-Achse wiedergegeben. Die y-Achse zeigt die Zahnfarbstufen. Diese bewegen sich für die Größen Helligkeit und Intensität zwischen 1 und 5, während der Wertebereich für die Dimension des Farbtons zwischen Stufe 1 und 3 festgelegt ist. Der Kurvenverlauf für die Helligkeit der untersuchten Schmelzprobe zeigt bereits am 3. Tag eine Abnahme der Helligkeit von der 4. auf die 3. Stufe. Am 8. Tag erfolgt eine weitere Reduktion auf die 2. Helligkeitsstufe. Daraufhin stagniert das Ergebnis. Es wurde also eine Aufhellung der Zahnfarbe um zwei Helligkeitsstufen erzielt. Die Entwicklung der Intensitätskurve zeigt erst am 13. Tag eine Änderung. Die Intensität sinkt von der Intensitätsstufe 4 auf die Intensitätsstufe 2, worauf dieses Ergebnis ebenfalls bestehen bleibt. Es liegt eine Abnahme der Intensität um zwei Stufen vor, was ebenfalls eine Aufhellung der Zahnfarbe bedeutet. Die Kurve des Farbtons zeigt über den gesamten Verlauf keinerlei Veränderung. Die Ausgangsstufe 1 bleibt über die Versuchszeit ohne jegliche

Schwankungen bestehen. Um eine quantitative Aussage über die durchschnittliche Änderung der 3 Zahnfarbdimensionen machen zu können, wird in den folgenden Diagrammen eine Betrachtung aller untersuchten Schmelzproben in der Summe vorgenommen.

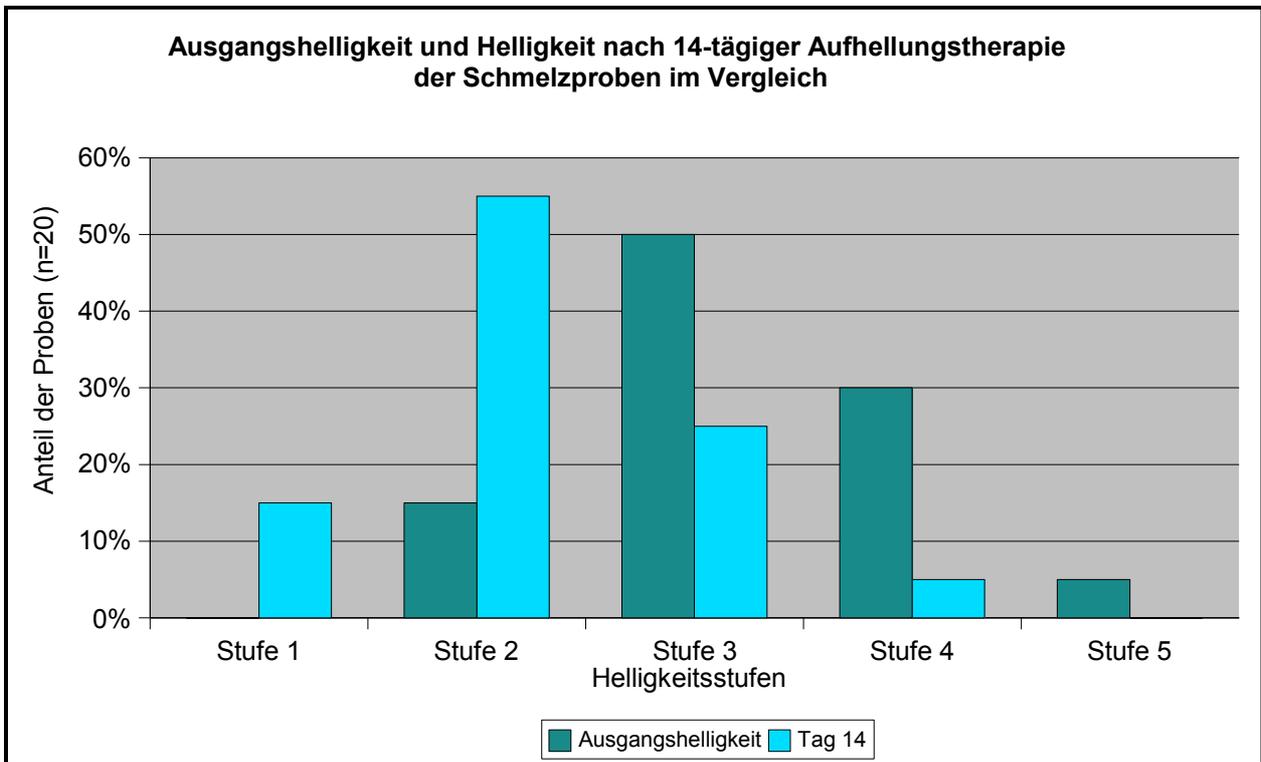


Abb. 36: Verteilung der Helligkeitsstufen der 20 Frontzahnschmelzproben vor und nach dem Bleichen auf Basis der Farbbestimmung mit dem Vitapan 3D-Master® im Vergleich.

Die obenstehende Abb. 36 stellt den Schmelzprobenanteil an jeder der Helligkeitsstufen von Stufe 1 bis Stufe 5 zu Beginn und nach Beendigung der Bleichbehandlung gegenüber. Die Helligkeitsstufe 3 war mit 50% der Proben am häufigsten vertreten. 30% der Proben wiesen die Helligkeitsstufe 4 auf. Die Helligkeitsstufe 2 lag bei 15% der Proben vor. Die Helligkeitsstufe 5 war nur zu 5% und die Helligkeitsstufe 1 nicht vorhanden. Die Durchschnittshelligkeit liegt bei $3,25 \pm 0,79$. Nach der 14-tägigen Behandlung der Schmelzproben mit dem Bleichgel Colgate® Simply White® ist eine Verlagerung des Spektrums nach links deutlich. Der durchschnittliche Helligkeitswert beträgt nun $2,3 \pm 0,78$. Die Anzahl der Schmelzproben der Helligkeitsstufen 1 und 2 nahm durch die Aufhellungsmaßnahmen signifikant zu. Die Helligkeitsstufe 2, die zuvor nur mit 15% der Proben vertreten war, lag nach 14-tägiger Aufhellungstherapie bei 55% der Proben vor. Die Helligkeitsstufe 1, die vor der Bleichtherapie bei keiner der Schmelzproben vorlag, war nach der

Bleichtherapie bei 15% der Proben vorzufinden. Der Prozentsatz der Schmelzproben der Helligkeitsstufen 3, 4 und 5 zeigte im Laufe der Therapie eine abnehmende Tendenz. Wo vor der Aufhellungstherapie 50% der Proben der Helligkeitsstufe 3 zuzuordnen waren, gehörten nach der Therapie nur noch 25 % zu dieser Stufe. Die 30% der Proben, die vor der Therapie die Helligkeitsstufe 4 aufwiesen, reduzierten sich im Rahmen des Bleichvorgangs auf 5%. Die 5% der Schmelzproben, welche die Helligkeitsstufe 5 aufwiesen, wurden durch die Aufhellungsmaßnahmen auf 0% vermindert.

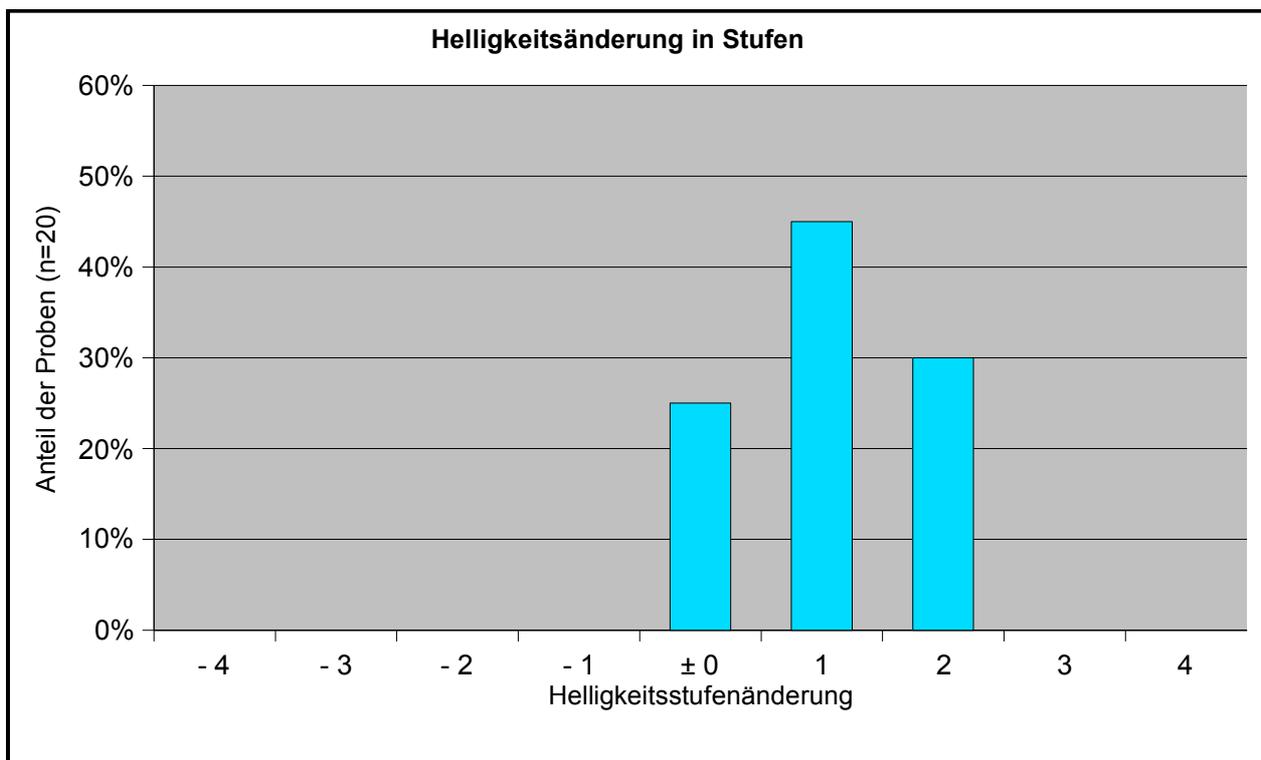


Abb. 37: Darstellung der Helligkeitsänderung der Schmelzproben in Stufen. Die positiven Werte der Helligkeitsstufen zeigen eine Zunahme der Helligkeit der Schmelzprobe und damit eine Abnahme der Helligkeitswerte zwischen 5 und 1 an.

Bei der differenzierten Betrachtung der Helligkeitsstufenänderung (Abb. 37) zeigte sich bei 75% der Proben eine Erhöhung der Helligkeitsstufen. Bei den restlichen 25% ließ sich keine Änderung der Helligkeitsstufe erzielen. Die Mehrzahl der Schmelzproben wies mit 45% eine Erhöhung um eine Helligkeitsstufe auf. 30% der Proben erreichten durch den 14-tägigen Aufhellungsprozess eine Erhöhung um zwei Helligkeitsstufen. Eine Aufhellung um drei oder mehr Helligkeitsstufen wurde bei keiner der Schmelzproben erzielt. Auch eine Abnahme der Helligkeitsstufe, das heißt eine Änderung des Helligkeitswertes von einem niedrigeren auf einen höheren, trat nicht auf.

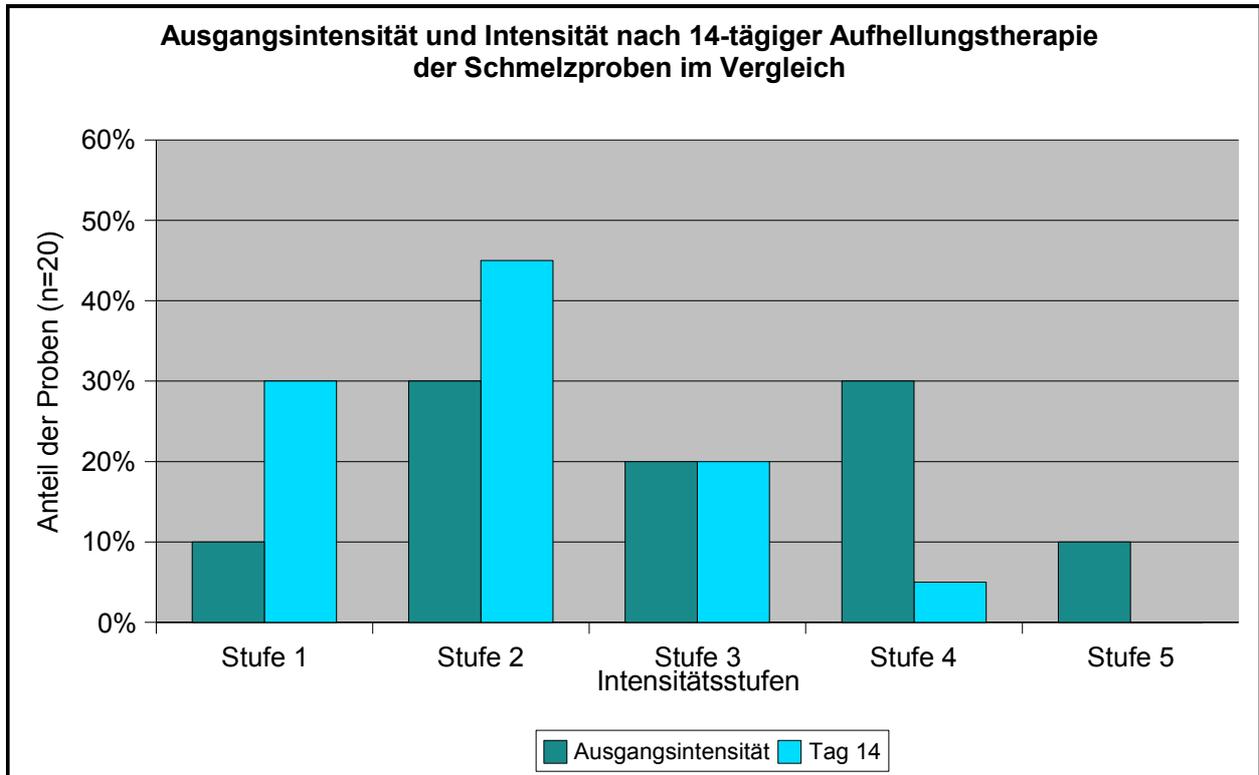


Abb. 38: Die Verteilung der Intensitätsstufen der 20 Frontzahnschmelzproben vor und nach dem Bleichen auf Basis der Farbbestimmung mit dem Vitapan 3D-Master® im Vergleich zeigt eine Linksverschiebung der Intensität durch den Aufhellungsprozess.

Die Intensitätsstufenverteilung der Schmelzproben vor und nach der Aufhellungstherapie ist in Abb. 38 zu sehen.

Vor der Bleichtherapie liegen die Intensitätsstufen 2 und 4 bei jeweils 30% der Schmelzproben vor. Die Intensitätsstufe 3 tritt bei 20% der Proben auf und die Intensitätsstufen 1 und 5 liegen bei 10% der Proben vor. Die Durchschnittsintensität beträgt $3 \pm 1,21$.

Die 14-tägige Aufhellungstherapie hat zu einer Verlagerung der Intensität zu den Stufen 1 und 2 geführt. Die Intensitätsstufe 1 bekam einen Zuwachs von zuvor 10% auf 30% der Proben nach der Bleichbehandlung. Der Prozentsatz der Intensitätsstufe 2 erhöhte sich von anfangs 30% auf 45% nach Aufhellung der Proben. Die Prozentzahl der Proben, die der Intensitätsstufe 3 zuzuordnen sind, ist bei 20% geblieben. Die Anzahl der Proben der Intensitätsstufen 4 und 5 nimmt mit der Bleichtherapie deutlich ab. Während vor der Aufhellungstherapie 30% der Proben der Intensitätsstufe 4 zuzuordnen waren, reduzierte sich dieser Anteil auf 5% der Proben, die nach der Therapie dort einzuordnen waren. Die

Tendenz der Verlagerung zu den niedrigeren Intensitätsstufen zeigt sich auch in der durchschnittlichen Intensität, die nach dem Bleichprozess bei Stufe $2 \pm 0,86$ liegt.

Die 10% der Proben der Intensitätsstufe 5, die vor dem Bleichen vorlagen, nahmen ebenfalls ab, sodass nach dem Bleichen keine Proben dieser Intensitätsstufe mehr vorhanden waren.

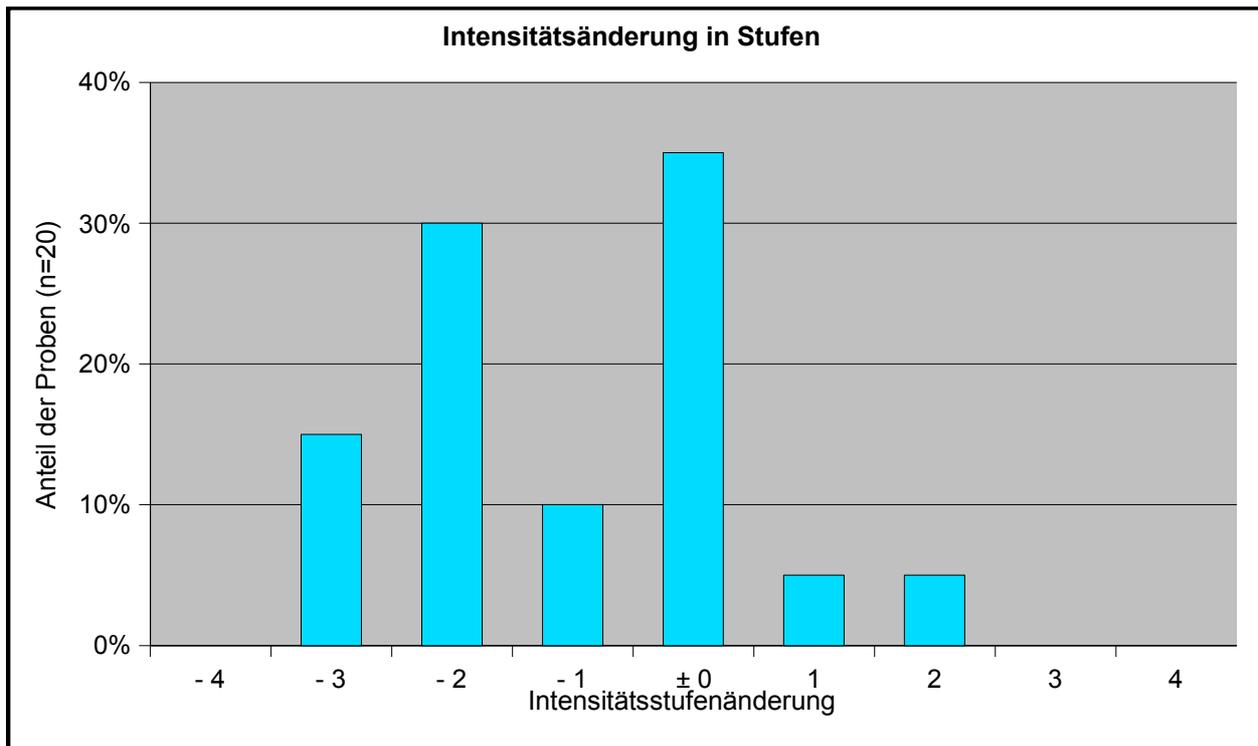


Abb. 39: Darstellung der Intensitätsänderung der Schmelzproben in Stufen. Die positiven Werte der Helligkeitsstufen zeigen eine Zunahme der Intensität der Zahnfarbe und damit eine Zunahme der Intensitätswerte zwischen 1 und 5 an.

Das obige Diagramm (Abb. 39) gibt eine differenziertere Auskunft über die Richtung der Intensitätsentwicklung, auch im Sinne der Anzahl der Stufen, um die sich die Mehrzahl der Proben im Rahmen des Bleichprozesses verändert hat. Grob betrachtet blieb die Intensitätsstufe bei 35% der Proben unverändert, bei 55% der Proben reduzierte sich die Intensität der Zahnfarbe (was eine Aufhellung der gesamten Zahnfarbe bedeutet) und bei 10% der Proben nahm die Intensität zu. 15% der Schmelzproben zeigten eine um 3 Stufen verringerte Intensität der Zahnfarbe, 30% eine um 2 Stufen und 10% eine um 1 Stufe reduzierte Intensität. Je 5% der Proben änderten die Intensität der Zahnfarbe im Sinne einer erhöhten Intensität um eine bzw. zwei Intensitätsstufen.

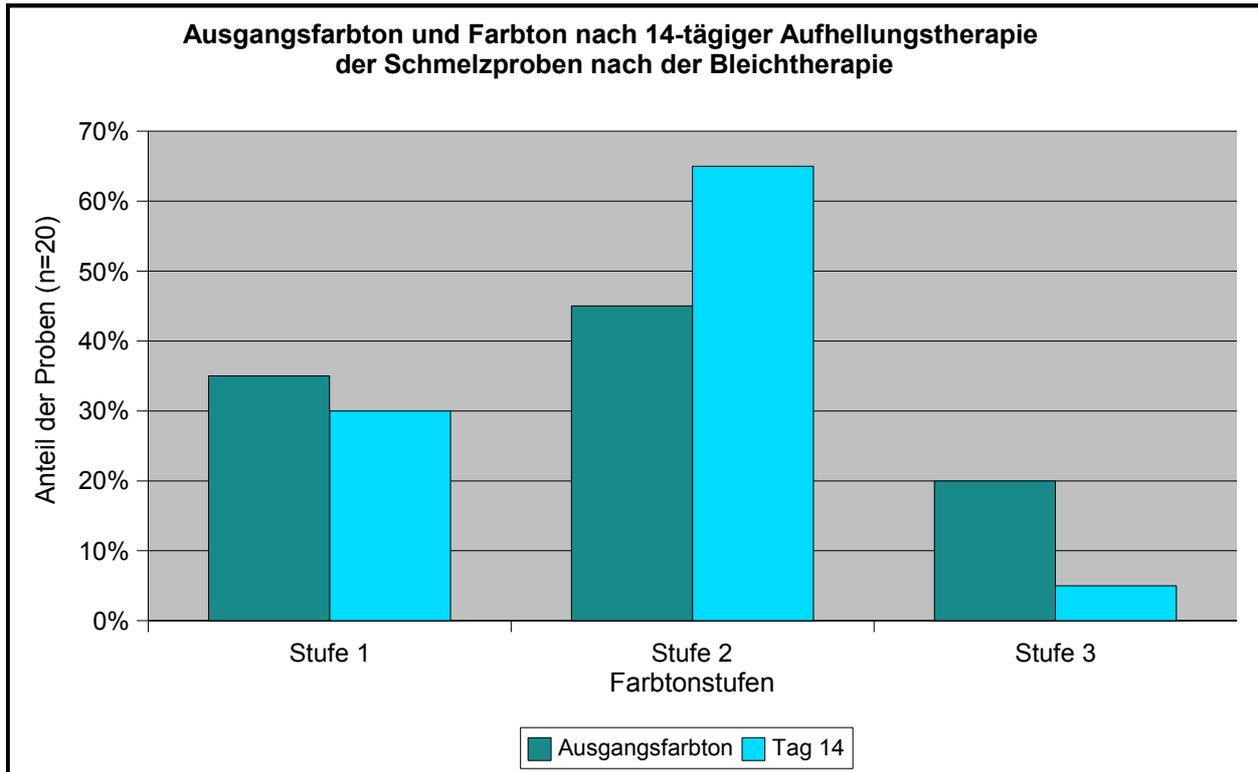


Abb. 40: Verteilung der Farbtonstufen der 20 Frontzahnschmelzproben vor und nach dem Bleichen auf Basis der Farbbestimmung mit dem Vitapan 3D-Master® im Vergleich.

Die Verteilung der Farbtonstufen der Schmelzproben vor und nach der Bleichtherapie ist in Abb. 40 graphisch dargestellt. Der mittlere Farbton, der der Stufe 2 entspricht, ist mit 45% der Schmelzproben am häufigsten vertreten. Darauf folgt mit 35% die Farbtonstufe 1, welche einen gelblichen Farbton beschreibt. Die rötliche Farbtonstufe 3 liegt bei 20% der Proben vor. Die Anzahl der Proben, die der mittleren Farbtonstufe 2 entsprechen, nahmen im Rahmen der Bleichtherapie um 20% von 45% auf 65% zu. Die Proben der gelblichen Farbtonstufe 1 reduzierten sich in geringem Maße von 35% auf 30%. Auch die Proben der rötlichen Farbtonstufe 2 nahmen ab und zwar von anfangs 20% auf 5% nach der Aufhellungstherapie. Auch der durchschnittliche Farbtonwert ändert sich kaum. Anfangs beträgt die durchschnittliche Farbtonstufe $1,85 \pm 0,75$, nach der Bleichtherapie liegt diese bei $1,75 \pm 0,55$.

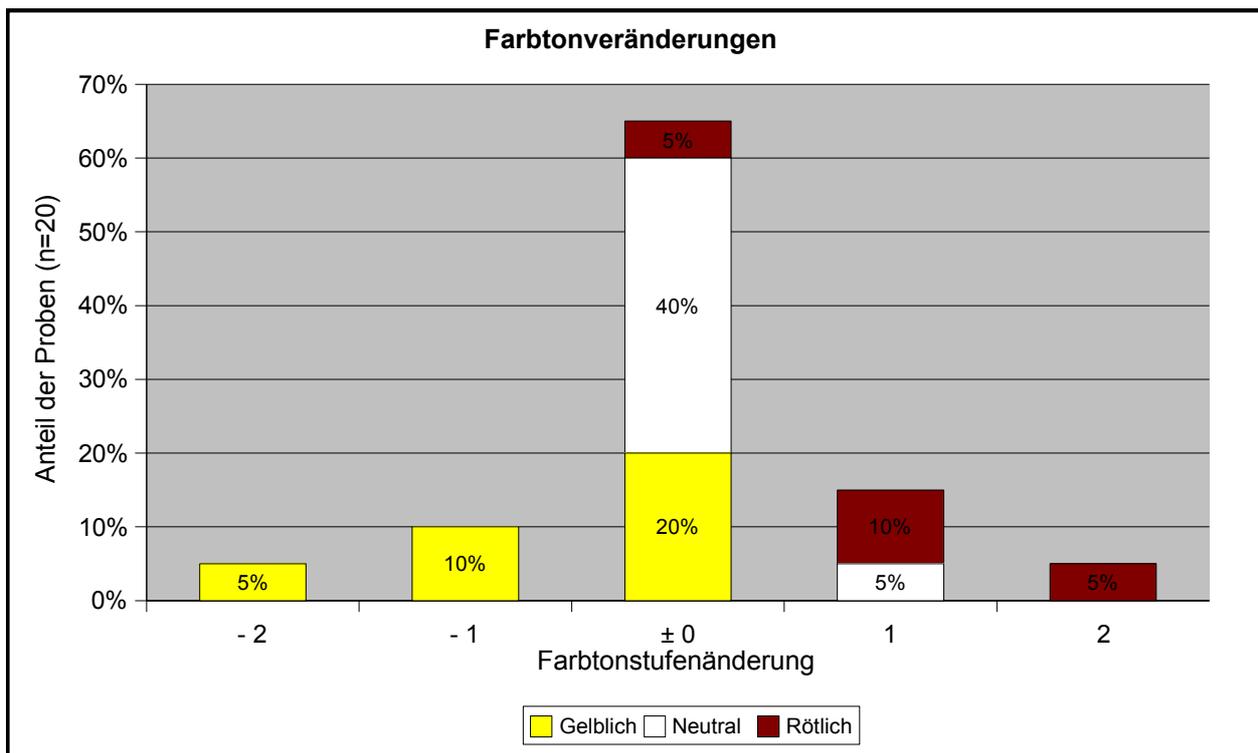


Abb. 41: Darstellung der Farbtonstufenveränderung in Abhängigkeit von der Ausgangsfarbstufe. 5% der Proben änderten sich von gelblich um zwei Farbstufen nach rötlich. 10% der Proben änderten sich von der gelblichen Ausgangsfarbe in Richtung eines neutralen Farbtons. 20% der Proben mit gelblichem, 40% mit neutralem und 5% mit rötlichem Ausgangsfarbtons veränderten den Farbton nicht. 5% der Proben änderten den Farbton um eine Stufe in eine gelbliche Färbung. 10% wandelten sich von einer rötlichen in eine neutrale Farbe. Die letzten 5% der Proben, ausgehend von einem rötlichen Farbton, endeten nach der Bleichtherapie mit einer gelblichen Färbung.

In Abb. 41 ist abzulesen, welcher Schmelzprobenanteil sich während der Aufhellungsbehandlung um wie viele Farbtonstufen in welche Richtung verändert hat. Dabei wird zusätzlich die Ausgangsfarbe differenziert. Es ist auffällig, dass der Farbton bei einem Großteil der Proben unverändert geblieben ist. Bei 65% der Proben blieb der Ausgangsfarbton bestehen. Eine Änderung um eine Farbtonstufe, von einer höheren auf eine niedrigere Stufe, kam bei 15% der Proben vor und bei 5% eine Veränderung um zwei Farbtonstufen. Eine Änderung um eine Farbtonstufe von einer niedrigeren auf eine höhere zeigte sich bei 10% der Proben und bei 5% um zwei Farbtonstufen. Der mit 40% überwiegende Anteil der Proben, deren Farbton unverändert blieb, hatte einen neutralen Ausgangsfarbton. 20% der Proben mit ursprünglich gelblichem Farbton und 5% der Proben mit ursprünglich rötlichem Farbton veränderten diesen während der Bleichtherapie nicht. Jeweils 10% der Proben änderten ihren Farbton von einer gelblichen bzw. rötlichen Ausgangsfarbe hin zu einem

neutralen Farbton. 5% waren ursprünglich neutral und nach Bleichbehandlung rötlich. Weitere 5% änderten den Farbton vom Ausgangs rötlichen zum letztendlich gelblichen Farbton und wiederum 5% veränderten sich genau in die umgekehrte Richtung vom rötlichen zum gelblichen Farbton.

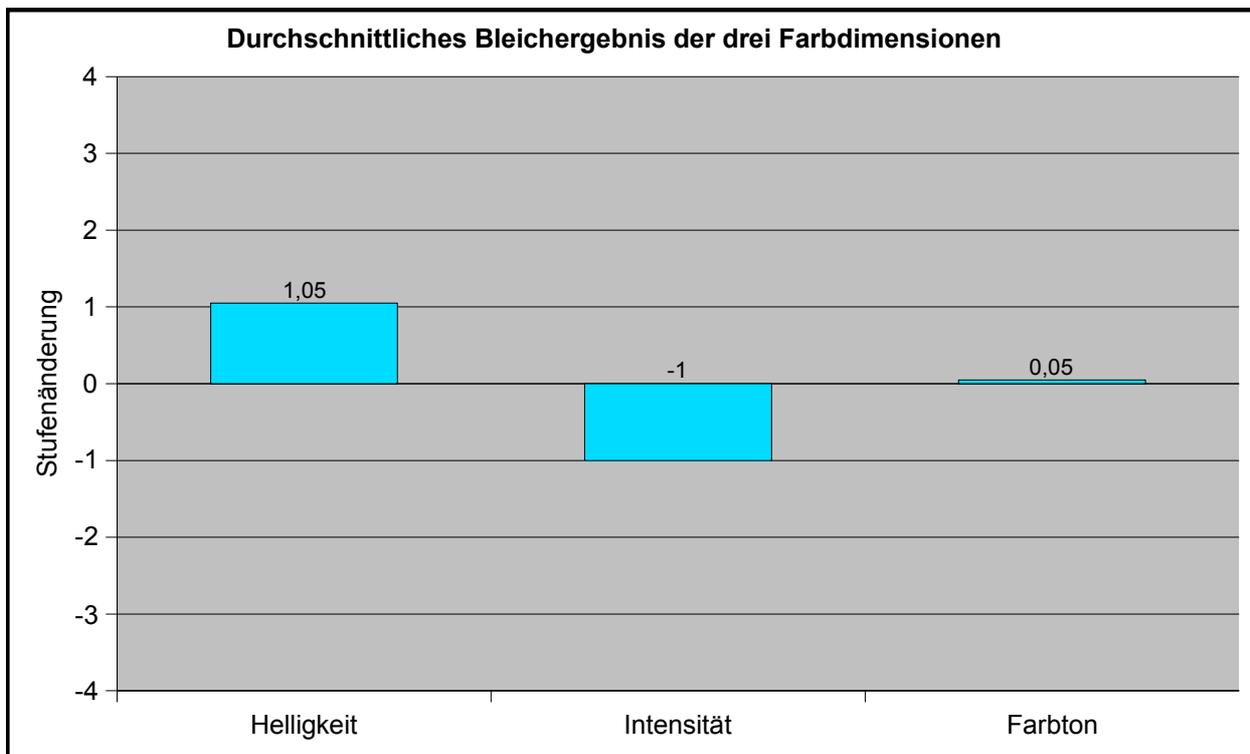


Abb. 42: Darstellung des durchschnittlichen Bleichergebnisses: Die Helligkeit nimmt um 1,05 Stufen zu, die Intensität nimmt um eine Stufe ab und der Farbton ändert sich nur um 0,05 Stufen in Richtung einer höheren Farbtonstufe. Die Standardabweichung für die Helligkeit beträgt 0,57, die Standardabweichung für die Intensität 1,2 und die Standardabweichung für den Farbton 0,45.

Wenn man die durchschnittliche Stufenänderung der drei Farbdimensionen betrachtet, wurde in Bezug auf die Helligkeit der Zahnfarbe durch die 14-tägige Bleichtherapie mit dem Bleichmittel Simply White® von Colgate eine um $1,05 \pm 0,57$ Farbstufen erhöhte Helligkeit erreicht. Die Intensität der Zahnfarbe reduzierte sich um $1 \pm 1,2$ Farbstufen und der Farbton der Zahnfarbe nahm durchschnittlich um $0,05 \pm 0,45$ Farbstufen zu (Abb.: 42).

Es fällt auf, dass der Farbton einer Zahnfarbe sich im Rahmen der Bleichtherapie kaum verändert, während Helligkeit und Intensität zu einer deutlichen Zahnaufhellung führen. Dabei ist der erzielte Betrag der Stufenänderung um etwa eine Stufe in der jeweiligen Farbdimension annähernd gleich.

3.2 Oberflächenmorphologie des Zahnschmelzes nach den Bleichmaßnahmen

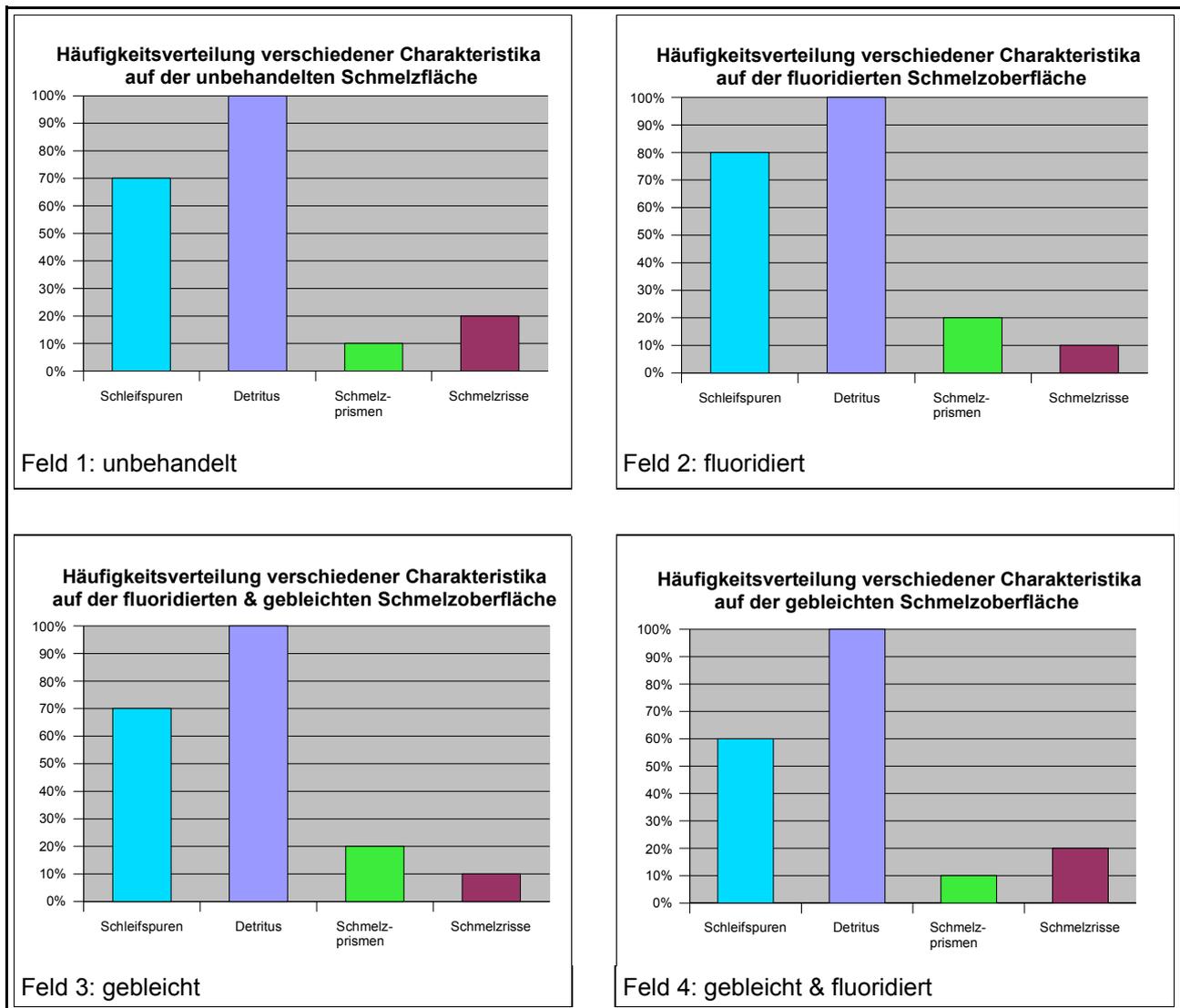


Abb. 43: Übersicht aller charakteristischen Oberflächenveränderungen in Abhängigkeit von der Vorbehandlung der vier Schmelzprobenfelder.

Die Abb. 43 zeigt eine Übersicht aller im Material- und Methodenteil aufgeführten typischen Merkmale: Schleifspuren, Detritus, Schmelzprismen und Schmelzrisse der Schmelzoberfläche, die sich auf den Schmelzproben bei der rasterelektronenmikroskopischen Betrachtung wiederholen. Es lässt sich der jeweilige prozentuale Anteil der entsprechenden Merkmale in Abhängigkeit vom Schmelzprobenfeld ablesen.

Im Folgenden wird anhand weiterer merkmalspezifischer Diagramme jedes Charakteristikum besprochen.

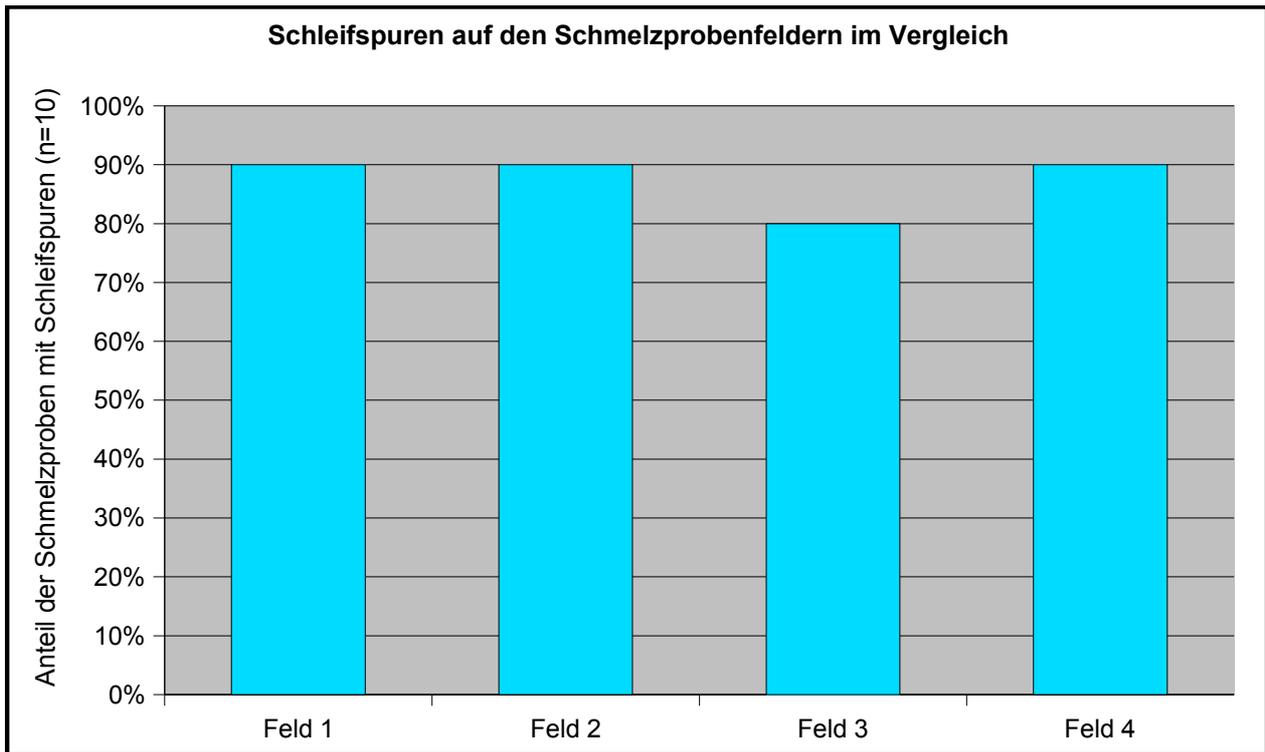


Abb. 44: Darstellung des Vorkommens von Schleifspuren auf den Schmelzprobenfeldern eins bis vier. Zu 90% kommen Schleifspuren auf den Feldern 1, 2 und 4 vor. Bei 80% der Proben kommen auf Feld 3 Schleifspuren vor.

In Abb. 44 ist der Prozentsatz der Proben mit rasterelektronenmikroskopisch sichtbaren Schleifspuren in Abhängigkeit von der unterschiedlichen Behandlungsweise der verschiedenen Probenfelder dargestellt.

Die Häufigkeit auftretender Schleifspuren auf der Schmelzoberfläche der unterschiedlich behandelten Probenfelder bewegt sich zwischen 80 und 90%. Das Feld eins stellt die negative Kontrolle in der Versuchsanordnung dar, sodass der hier ermittelte Wert für das Auftreten von Schleifspuren der natürlichen Verteilung dieses Charakteristikums auf natürlicher, unbehauelter Schmelzoberfläche entspricht. Der Wert liegt bei 90%. Bei den Probenfeldern, die ausschließlich fluoridiert bzw. ausschließlich gebleicht wurden, treten Schleifspuren in der gleichen Häufigkeit von ebenfalls 90% auf. Mit 80% kommen Schleifspuren bei den Proben, die zunächst gebleicht und anschließend zusätzlich fluoridiert wurden (Feld 3), vor. Es sticht jedoch keines der Versuchsfelder durch einen besonders hohen oder niedrigen Wert hervor. Die Werte liegen im Rahmen einer natürlichen Streuung. Die Berechnung des Chi-Quadrat mithilfe des Chi-Quadrat-Tests ergab einen Wert von 0,69. Bei einem Signifikanzniveau von 5% müsste Chi-Quadrat mindestens 7,81 (3 Freiheitsgrade) betragen, um eine Abhängigkeit zu beweisen. Der Wert liegt mit 0,69 je-

doch deutlich unter 7,81. Dieses Ergebnis beweist die Hypothese, dass das Auftreten der Schleifspuren unabhängig von den unterschiedlichen Behandlungsweisen der verschiedenen Schmelzfelder ist. Es besteht eine stochastische Unabhängigkeit.

Das Merkmal der Schleifspuren ist eine typische posteruptive Veränderung der Schmelzoberfläche. Vestibuläre Zahnflächen, wie sie in dieser Studie untersucht wurden, werden durch Abrasion verändert. Diese Veränderungen sind zum Beispiel auf Putzkörper aus Zahnputzmitteln zurückzuführen, die im Laufe der jahrelangen Anwendung Schleifspuren auf der Schmelzoberfläche hinterlassen (Schroeder, 2000).

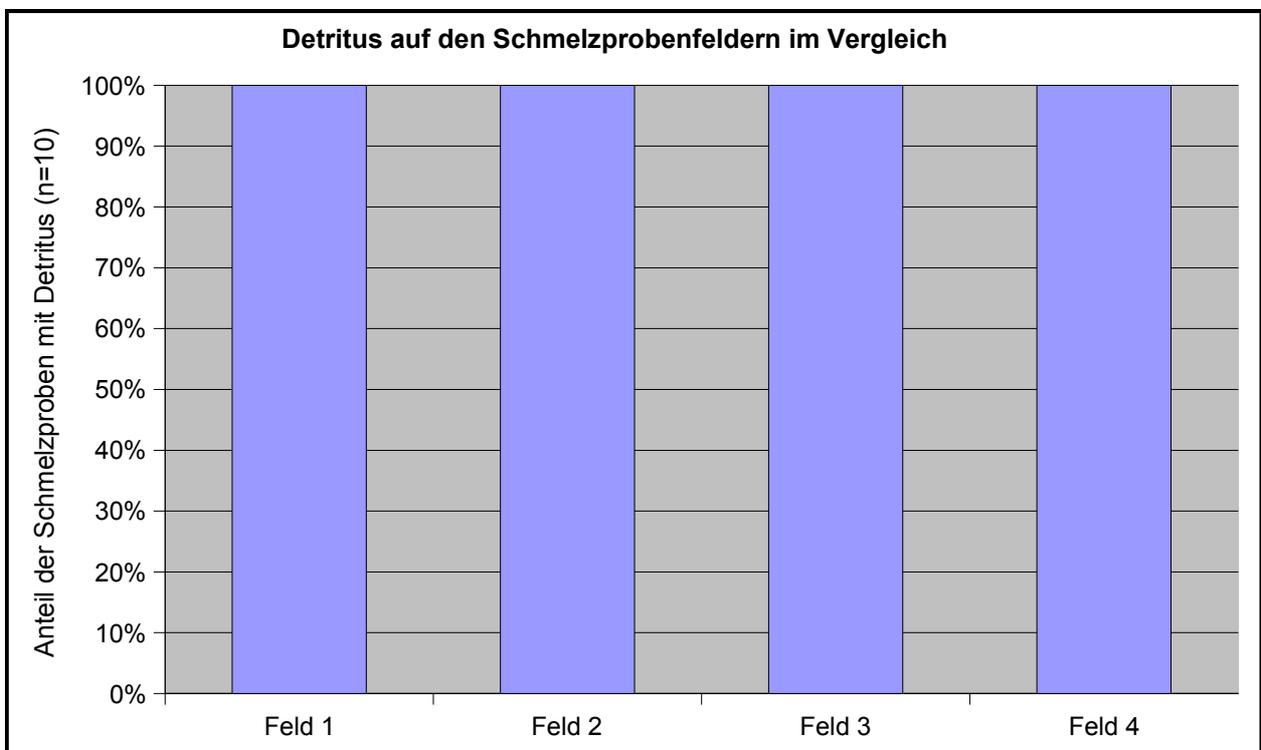


Abb. 45: Verteilung des Vorkommens von Detritus auf den Schmelzprobenfeldern 1 bis 4. Auf allen Feldern tritt zu 100% Detritus auf.

Abb. 45 zeigt den Anteil der Schmelzproben, auf deren Oberfläche Detritus in Abhängigkeit von der entsprechenden Behandlung der Probenfelder eins bis vier zu sehen ist.

In allen vier Feldern war bei der rasterelektronenmikroskopischen Untersuchung auf allen Proben Detritus auf der Schmelzoberfläche zu sehen. Dieses Ergebnis zeigt, dass der Detritus unabhängig von der Behandlungsweise der Schmelzproben, ob unbehandelt, gebleicht, fluoridiert oder in Kombination, im Sinne von Artefakten vorliegt. Der errechnete Chi-Quadrat Wert von 0 bekräftigt diese Hypothese der Unabhängigkeit. Der Wert liegt deutlich unter dem Chi-Quadrat-Wert von 7,81, welcher bei einer festgelegten Irrtums-

wahrscheinlichkeit von 5% als Mindestwert vorliegen müsste, um eine Abhängigkeit zu beweisen. Behandlungsweise und der Detritus auf der Schmelzoberfläche stehen also in keinem Zusammenhang und sind unabhängig voneinander.

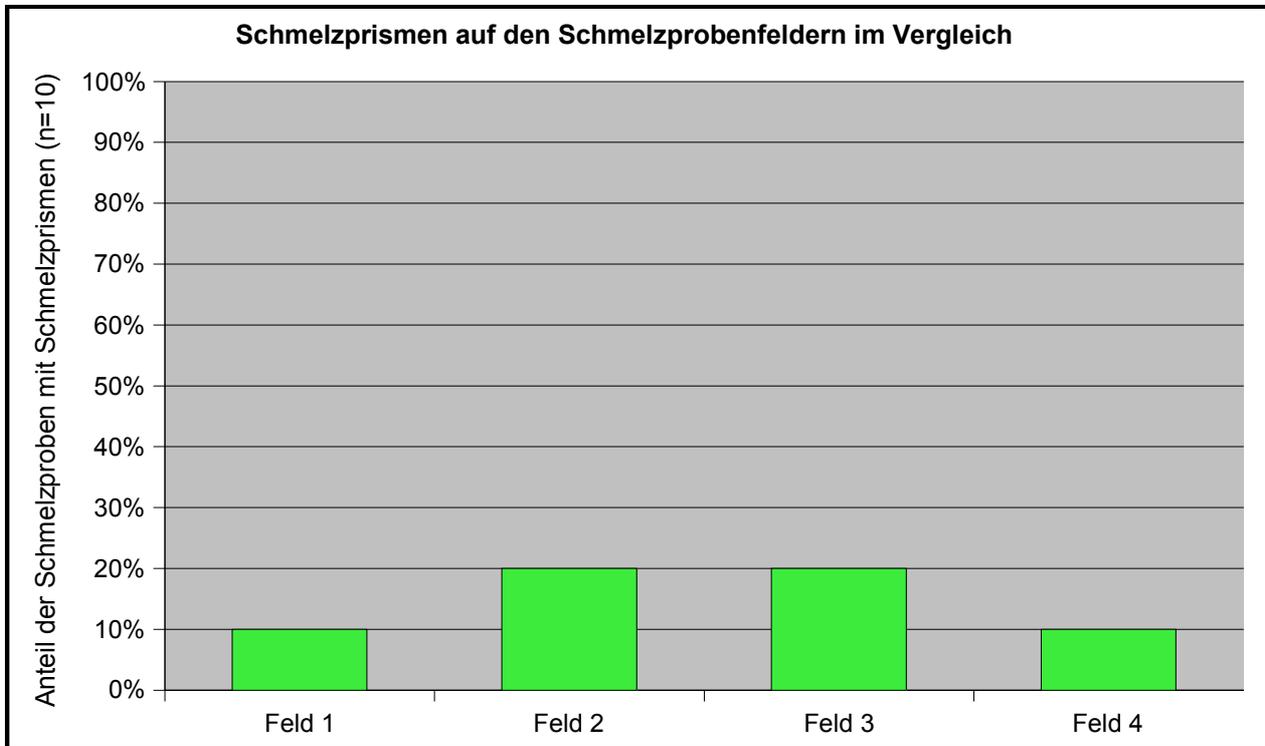


Abb. 46: Ausreten von Schmelzprismen in Abhängigkeit von den Schmelzprobenfeldern. 10% der Proben weisen auf den Feldern 1 und 4 Schmelzprismen auf und 20% der Proben zeigen auf den Feldern 2 und 3 Schmelzprismen.

Die obige Abb. 46 gibt einen Überblick über das Auftreten von Schmelzprismen auf der Oberfläche der Schmelzproben. Der jeweilige prozentuale Anteil wird in Bezug auf die unterschiedliche Vorbehandlung (Feld 1 - 4) differenziert.

Der Anteil an rasterelektronenmikroskopisch sichtbaren Schmelzprismen auf der Schmelzoberfläche für die negative Kontrollgruppe in Form des unbehandelten Probenfeldes eins beträgt 10%. Die Probenfelder, die der vierzehntägigen Bleichbehandlung mit Colgate Simply White® unterzogen wurden (Feld 4), zeigten ebenfalls bei 10% Prismenstrukturen auf der Schmelzoberfläche. Die Probenfelder, die einmalig mit elmex® fluid behandelt wurden (Feld 2), und diejenigen, die zunächst gebleicht und anschließend einmalig durch elmex® fluid fluoridiert wurden (Feld 3), wiesen beide bei der doppelten Probenzahl, also bei 20% der Proben, sichtbare Schmelzprismenstrukturen auf der Oberfläche auf. Unter Umständen besteht ein Zusammenhang zwischen dem Auftreten von Schmelz-

prismenstrukturen und der Anwendung von elmex® fluid. Schmelzprismen werden zum Beispiel durch Säureeinwirkung freigelegt, was man sich bei der mikroretentiven Verankerung von Kompositfüllungen in Form der Säure-Ätz-Technik zunutze macht. Das Produkt elmex® fluid verfügt über einen sauren pH-Wert von 3,9, sodass freiliegende Schmelzprismen möglicherweise einen unerwünschten Nebeneffekt der Fluoridierung darstellen, jedoch nicht auf die Bleichmaßnahmen zurückzuführen sind. Aufgrund der geringen Probenzahl ist jedoch ein gesicherter Zusammenhang nicht zu erbringen. Auch die Berechnung des Chi-Quadrat ergibt mit dem Ergebnis von 0,79, dass Behandlungsweise und Schmelzprismenvorkommen unabhängig voneinander sind. Das errechnete Chi-Quadrat liegt eindeutig unter dem Chi-Quadrat-Wert von 7,81 (Signifikanzniveau von 5% bei 3 Freiheitsgraden), womit die stochastische Unabhängigkeit bewiesen ist.

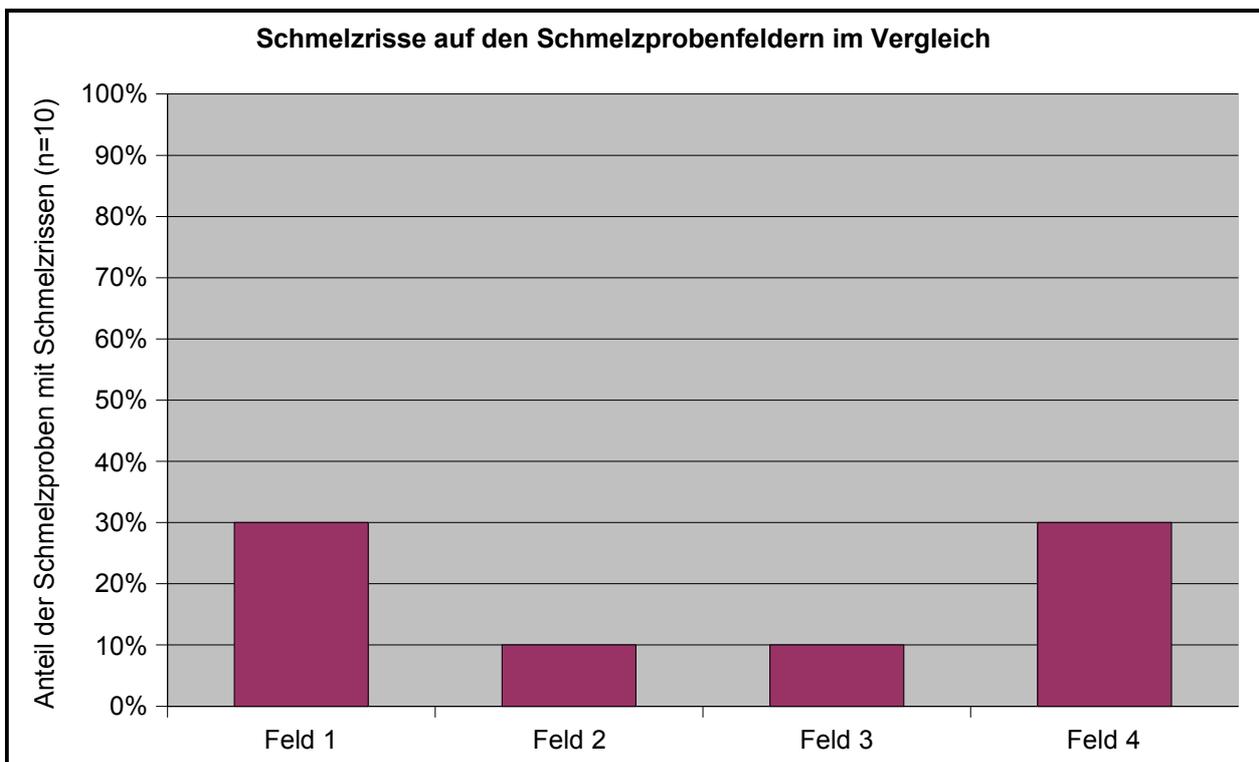


Abb. 47: Auftreten von Schmelzrisse auf den Schmelzprobenfeldern 1 bis 4. Bei 30% der Probenfelder 1 und 4 und bei jeweils 10% der Felder 2 und 3 liegen Schmelzrisse vor.

In Abb. 47 ist der Anteil der Schmelzproben mit rasterelektronenmikroskopisch sichtbaren Schmelzrisse in Abhängigkeit von der unterschiedlichen Behandlung der Schmelzfelder entsprechend dem Versuchsaufbau dargestellt.

Bei der unbehandelten Schmelzoberfläche des Feldes 1 liegt der Anteil an Proben mit Schmelzrisse bei 30%, was dementsprechend einer durchschnittlichen Normalverteilung

unabhängig von der Behandlung mit unterschiedlichen Testmaterialien entspricht. Auf den gebleichten Schmelzfeldern kommen bei 30% Schmelzrisse vor und die fluoridierten (Feld 2) sowie gebleichten und fluoridierten (Feld 3) Schmelzfelder zeigen bei 10% der Proben Schmelzrisse. Das errechnete Chi-Quadrat beträgt 2,5. Der Wert liegt deutlich unter dem Chi-Quadrat-Wert von 7,81, welcher bei einem Signifikanzniveau von 5% unterschritten werden muss, um eine Unabhängigkeit zu beweisen. Es besteht also kein Zusammenhang zwischen der Behandlungsweise der Schmelzfelder und dem Vorkommen von Schmelzrisen. Die Schmelzrisse sind als Trocknungsartefakte zu deuten. Sie treten zufällig verteilt auf und ziehen sich häufig unabhängig von der Behandlung der Felder über die gesamte Schmelzprobe.

4 Diskussion

4.1 Farbergebnisse

In dieser Studie erfolgte die Zahnfarbbestimmung mit dem Vitapan 3D-Master[®]. Ideale Bedingungen für die Farbabmusterung sind diffuses Nordlicht zur Mittagszeit oder eine dem Tageslicht angepasste künstliche Beleuchtung (Faber, 2002). Wichtig ist zudem, dass die Farbnahme mit einer Armlänge Abstand zum Objekt vor einem neutralen Farbhintergrund erfolgt. In der Versuchsanordnung der vorliegenden Studie erfolgte die Auswahl der Zahnfarbe der Schmelzproben bei Tageslicht und auf einem schwarzen Hintergrund. So wurden täglich vergleichbare Bedingungen geschaffen. In einer Studie von Junker-Malcharek und Kroszewsky wird die Farbbestimmung mit dem Vitapan 3D-Master[®] mit der Farbbestimmung mithilfe der Vitapan classical[®] Farbskala in Hinblick auf Treffsicherheit und Zeitaufwand der Farbbestimmungsmethode verglichen. Die Schrittfolge der Farbnahme beim Vitapan 3D-Master[®] sei zwar gewöhnungsbedürftig, schärfe aber das Verständnis für den Farbaufbau und führe nach etwas Übung zu größerer Treffsicherheit bei der Farbauswahl. Der Vorteil des Vitapan 3D-Masters[®] bestehe darin, dass die Farbskala mit gleichmäßigen Farbabständen arbeitet. Die Farbmuster ändern ihre Farbe stets um denselben Betrag und in dieselbe Farbrichtung, was auch das rechte Bild der Abb. 2 zeigt. Die Skalierung ist logisch aufeinander aufgebaut (Junker-Malcharek und Kroszewsky, 2002). Auf dem Markt gibt es auch digitale Farbmessgeräte. Diese bedienen sich objektiver metrischer Verfahren. Sie erfassen das Remissionsspektrum und weisen eine hohe Reproduzierbarkeit auf. Jedoch stimmen der visuelle und der messtechnische Eindruck häufig nicht überein, da die Zahnschichtung das Messergebnis, vor allem die Helligkeit, stark beeinflusst. Deshalb ist die visuelle Bestimmung der Zahnfarbe der messtechnischen vorzuziehen (Faber, 2002).

In einer In-vitro-Studie von Joiner und Thakker wurden verschiedene Bleichprodukte bezüglich ihrer aufhellenden Wirkung auf extrinsische und intrinsische Zahnverfärbungen überprüft. Eines der untersuchten Bleichgele war das Produkt Colgate Simply White[®], dessen Wirksamkeit auch in dieser Studie untersucht wurde. Im Vergleich zu einem Placebo-Gel war der Prozentsatz der entfernten Verfärbungen bereits nach einer Zeit von drei, sechs bzw. neun Minuten sowohl durch das Produkt Colgate Simply White[®] (10% Carbamidperoxid) als auch durch das Produkt Xtra White[®] (6% H₂O₂) wesentlich höher (40% / 55% / 60%). Die Wirksamkeit der Bleichgele in Bezug auf die Entfernung extrinsischer

Verfärbungen wurde dadurch bestätigt. Die intrinsische Zahnfarbe änderte sich ebenfalls im Sinne einer Aufhellung (Joiner und Thakker, 2004).

Die Ergebnisse bezüglich der Farbveränderungen im Rahmen der Bleichtherapie ergaben in unserer Studie eine durchschnittliche Helligkeitszunahme um 1,05 Helligkeitsstufen. Die Farbintensität verringerte sich um eine Stufe, der Farbton nahm durchschnittlich nur geringfügig um 0,05 Farbtonstufen zu, änderte sich also kaum.

Braun et al. stellten in einer In-vivo-Studie zum Schienenbleichen hinsichtlich der Zahnfarbentwicklung im Durchschnitt ebenfalls einen starken Anstieg der Helligkeit, einen Abfall der Farbintensität und einen leichten Anstieg des Farbtons fest. Es wurde ein Bleichgel mit 10%iger Carbamidperoxidkonzentration bei täglich zweistündiger Anwendung über einen Zeitraum von einer Woche verwendet. Die Zahnfarbbestimmung während und nach der Bleichtherapie erfolgte mit dem Vitapan 3D-Master® und zusätzlich mit einem digitalen Farbbestimmungssystem (Braun et al., 2006). Diese In-vivo-Versuchsbedingungen gleichen annähernd dem Aufbau dieser Studie. Die Ergebnisse, die hier durch Schienenbleichen erzielt werden konnten, wurden in unserer Studie für ein direkt zu applizierendes externes Bleichsystem unter In-vitro-Bedingungen bestätigt. Da der therapeutische Effekt unter Laborbedingungen einer In-vivo-Studie entspricht, ist von einem gut adaptierten In-vitro-System auszugehen.

Die Untersuchung der Farbentwicklung von Schmelzproben unter Einwirkung des Bleichgels Perfect Bleach® (10% Carbamidperoxid) der Firma Voco (Rütgens, 2007), die parallel zu dieser Studie durchgeführt wurde, erzielte insofern ein ähnliches Ergebnis, als dass ebenfalls eine Helligkeitszunahme, eine Intensitätsreduktion sowie eine sehr geringe Farbtonänderung gemessen wurden. Der Versuchsaufbau unterschied sich dahingehend, dass das Produkt Perfect Bleach® lediglich an drei aufeinanderfolgenden Tagen für je 2 Stunden auf die Schmelzproben wirkte, die Gesamtwirkdauer also geringer war. Die Farbmessung wurde auf dieselbe Art und Weise wie bei dieser Studie durchgeführt. Trotz der geringeren Wirkdauer konnte im Vergleich zum Produkt Simply White® durch das Produkt Perfect Bleach® eine deutlichere Zahnaufhellung erzielt werden. Die Helligkeitszunahme betrug 1,75 im Vergleich zu 1,05 Farbtonstufen, die Intensitätsreduktion betrug 2,25 gegenüber 1 Intensitätsstufe und der Farbton änderte sich um 0,15, verglichen mit 0,05 Farbtonstufen. Beide Bleichgele führen zu einer vergleichbaren Farbentwicklung, wobei die Effektivität von Perfect Bleach® die des Produktes Simply White® jedoch übersteigt.

Im Rahmen dieser Studie wurde festgestellt, dass sich die durch das Bleichen erreichte Zahnfarbe im Verlauf der darauf folgenden 14 Tage während des pH-Cyclings nicht

veränderte. Das Aufhellungsergebnis blieb bei allen Proben bestehen. Rütgens machte bei gleicher Versuchsanordnung des pH-Cyclings dieselben Beobachtungen. Braun et al. stellten sieben Tage nach der Carbamidperoxidanwendung bei der Farbbestimmung mit dem Vitapan 3D-Master® einen leichten Helligkeitsabfall um 0,1 Helligkeitsstufen fest. 14 Tage nach Abschluss der Bleichbehandlung konnte dieser Helligkeitsabfall jedoch nicht mehr bestätigt werden und der Durchschnittswert lag wieder bei 2,0 wie direkt im Anschluss an die Aufhellungstherapie. Im Vergleich mit dieser Studie konnte ein Rebound-Effekt bei der Zahnfarbbestimmung mit dem Vitapan 3D-Master® in einem Zeitfenster von 14 Tagen also ebenfalls nicht bestätigt werden. Die gemessenen Zahlenwerte bei der digitalen Zahnfarbbestimmung änderten sich jedoch in Richtung einer Nachdunklung der Zähne (Braun et al., 2006). Laut Faber ist jedoch die visuelle Bestimmung der Zahnfarbe der messtechnischen vorzuziehen, da die Zahnschichtung die Messergebnisse, vor allem die Helligkeit, stark beeinflusst und visuelle Eindrücke und messtechnische Werte häufig nicht übereinstimmen (Faber, 2002).

Laut Matis et al. nimmt die durch das externe Bleichen erreichte Helligkeitsstufe innerhalb von sechs bis zwölf Wochen nach Therapieende ab. Der Erfolg reduzierte sich nach sechs Monaten sogar um 45% (Matis et al., 1998). Eine derartige Tendenz ließ sich innerhalb von 14 Tagen nach Abschluss der Bleichtherapie in dieser Studie noch nicht beobachten. Jedoch wurde der Farbbeobachtungszeitraum nach der Therapie hier deutlich kürzer gewählt, sodass möglicherweise nach weiteren vier Wochen der Beobachtung ebenfalls ein Nachdunkeln erkennbar gewesen wäre.

Zantner et al. befassten sich in einer Studie mit der Stabilität eines Aufhellungsergebnisses nach Bleichtherapie und kamen zu dem Resultat, dass das Aufhellungsergebnis in Bezug auf die Ausgangsfarbe auch nach sechs Monaten, also im Vergleich zu zwei Wochen einem wesentlich längeren Zeitraum, nur zu einer verhältnismäßig geringen Wiederverfärbung von 0,7 Farbstufen führt und damit stabil bleibt. Das untersuchte Produkt und die Anwendung in der Studie glich dem Vorgehen in dieser Studie mit dem Produkt Simply White® von Colgate. Es wurde ein carbamidperoxidhaltiger Bleich-Lack (8%) zur Selbstapplikation für die Studie ausgewählt und der Anwendungszeitraum betrug 14 Tage mit (ein- bzw.) zweimal täglicher Verwendung (Zantner et al., 2004).

Im Falle der Anwendung von Carbamidperoxid wird dem Zahn bei der Zerfallsreaktion des Carbamidperoxids Wasser entzogen. Dies hat direkt nach Abschluss der Bleichbehandlung zunächst den Effekt einer zusätzlich helleren Zahnfarbe, die auf den Wasserentzug zurückzuführen ist. Einige Zeit nach Behandlungsabschluss werde dieser Effekt jedoch

durch Wasseraufnahme des Zahnes wieder ausgeglichen (Peters, 2005). Deshalb ist die endgültige Zahnfarbe erst einige Zeit nach Abschluss der Therapie zu beurteilen.

4.2 pH-Cycling

Die in dieser Studie angewendete Form des pH-Cyclings stützt sich auf das pH-Cycling-Modell von Featherstone et al. (1986). Hier wurden Zahnproben einer 6-stündigen Demineralisationsphase und einer 17-stündigen Remineralisationsphase unterzogen.

In der Demineralisationsphase wurden die Zahnproben bei 37°C in einen 0,075 mol/l Acetatpuffer mit Zugabe von 2,0 mmol/l Calcium und 2,0 mmol/l Phosphat eingelegt. Der pH-Wert der Pufferlösung lag bei pH 4,3. In der Remineralisationsphase wirkte ein 20 mmol/l Kakodylatpuffer mit beigegebenem 1,5 mmol/l Calcium, 0,9 mmol/l Phosphat und 150 mmol/l Kaliumchlorid bei einem pH-Wert von pH 7,0 auf die Zähne ein. Die Zugabe der Mineralien entspricht annähernd dem Sättigungsgrad, der im Speichel nachgewiesen wurde.

Argenta et al. (2003) verwendeten eine ähnliche Zusammensetzung von De- und Remineralisationslösung für das pH-Cycling in ihrer Studie. Der Unterschied besteht in der Zugabe von Fluorid sowohl zur De- als auch zur Remineralisationslösung. Außerdem wurde die Einwirkzeit der Lösungen auf die Schmelzproben anders gewählt. Die Demineralisationsphase betrug 3 anstelle von 6 Stunden und die Demineralisationsphase betrug 20 anstelle von 17 Stunden. Der Zyklus aus De- und Remineralisationsphase wurde ebenfalls abweichend von unserer Studie bis zu einer Gesamtdauer von 5 Tagen wiederholt, worauf die Proben weitere zwei Tage in der Remineralisationslösung verblieben.

In einer Studie von Herkstroter et al. fand ebenfalls ein pH-Cycling Anwendung. Es wurden zwei Lösungen verschiedener pH-Werte verwendet, zur Demineralisation eine Lösung mit einem pH-Wert von pH 4,5 (Bestandteile: 3 mmol $\text{CaCl}_2 \times 2 \text{H}_2\text{O}$, 3 mmol KH_2PO_4 , 50 mmol CH_3COOH (=Essigsäure) in 20 l Wasser + KOH) und eine Remineralisationslösung mit einem pH-Wert von pH 7 (1,5 mmol $\text{CaCl}_2 \times 2 \text{H}_2\text{O}$, 0,9 mmol KH_2PO_4 und 20 mmol HEPES in 20 l Wasser + KOH). Die Proben wurden durch ein automatisches System mit den entsprechenden Lösungen überströmt und nach der Einwirkzeit der Lösung mit Wasser abgespült. Ein pH-Zyklus beinhaltete eine Demineralisationsphase mit einer Dauer von 30 Minuten und eine darauf folgende Remineralisationsphase, die in verschiedenen Versuchsgruppen ebenfalls 30 Minuten bzw. 60 / 90 / 120 Minuten andauerte. Ein Zyklus wurde so oft wiederholt, bis eine Gesamtdauer von 24 Stunden erreicht war. Zur Auswertung wurde mittels Mikroradiographie der durchschnittliche Mineralverlust bzw. -gewinn

bestimmt. Zusätzlich zur Bestimmung der Einflüsse der De- und Remineralisationslösungen auf die Zahnschmelzsubstanzen wurden die Auswirkungen von Fluoriden auf die Demineralisationsrate während der Demineralisationsphasen überprüft, indem der Demineralisationslösung verschiedene Fluoridkonzentrationen in Höhe von 0,02, 0,2 und 2 ppm NaF beigefügt wurden. Dabei wurde festgestellt, dass der Mineralverlust sich annähernd linear zur Gesamtdauer der Demineralisation verhält. Der Fluoridzusatz zur Demineralisationslösung führte zu einer deutlich niedrigeren Demineralisationsrate der Zahnhartsubstanzenproben (Herkstroter et al., 1991).

Im Vergleich zum pH-Cycling, das in dieser Studie Anwendung fand, werden hier in 24 Stunden mehrere kurze Zyklen mit De- und Remineralisationsphase hintereinandergeschaltet und nicht ein langer Zyklus auf einen Tag ausgedehnt. Die Versuchsgruppe, deren Demineralisationsphasen auf 30 Minuten und deren Remineralisationsphasen auf 90 Minuten Dauer festgelegt wurden, stimmen jedoch in ihrem Verhältnis von 1:3 mit dem in unserer Studie gewählten Verhältnis überein.

4.3 Fluoridierung

Lagerweij und ten Cate beschäftigten sich in ihrer Studie mit der Demineralisationsanfälligkeit von Zahnhartsubstanz in Abhängigkeit von vorheriger Fluoridapplikation in verschiedenen Konzentrationen. Verschiedene Schmelzschnitte, die mit 0, 1,000, 2,000 bzw. 3,000 ppm Fluorid vorbehandelt wurden, wurden für sieben Tage einer Demineralisationslösung, bestehend aus 1,5 mmol CaCl_2 , 0,9 mmol KH_2PO_4 und 50 mmol Essigsäure und mit einem pH-Wert von pH 4,8, ausgesetzt. Vor Beginn der Säureeinwirkung nach 3 und 7 Tagen wurde die Reduktion des Mineralgehalts des Zahnschmelzes bestimmt. Nach 3 Tagen des pH-Cyclings konnte bereits eine deutlich geringere Demineralisation der fluoridierten Proben gemessen werden. Nach sieben Tagen zeigte sich in den unterschiedlichen Messwerten für fluoridierten im Vergleich zu unbehandeltem Schmelz sogar eine extreme Hemmung der Demineralisation. Bei Vorbehandlung mit 3,000 ppm Fluorid ließ sich sogar eine Remineralisation verzeichnen (Lagerweij und ten Cate, 2006).

Argenta et al. machten ähnliche Beobachtungen. Sie führten in ihrer Studie ein pH-Cycling an Schmelzproben durch, um den Effekt der Zugabe verschieden hoher Fluoridkonzentrationen (70, 140 bzw. 280 ppm F) zu ermitteln. Die anschließende Bestimmung der Oberflächenmikrohärte / Querschnittmikrohärte ergab einen deutlichen Abfall der Oberflächenmikrohärte aller Proben nach dem pH-Cycling, wobei jedoch im Zusammenhang mit den Fluoridapplikationen eine geringere Läsionstiefe zu verzeichnen war (Argenta et al., 2003).

Das in unserer Studie zur Fluoridierung verwendete Produkt elmex® fluid enthält laut Produktinformation 10.000 ppm F⁻, die Konzentration ist also deutlich höher, sodass die Vorbehandlung mit diesem Produkt die entsprechenden Schmelzproben während des pH-Cyclings vor einer Demineralisation schützen bzw. sogar eine Remineralisation hervorrufen müsste. Die rasterelektronenmikroskopischen Bilder bestätigen eine solche Entwicklung jedoch nicht. Vielmehr zeigen sich auf den fluoridierten Schmelzflächen häufiger Schmelzprismen, die als Zeichen einer Demineralisation zu werten sind, als auf den übrigen Schmelzflächen. Möglicherweise lässt sich diese Beobachtung auf den sauren pH-Wert des Produktes elmex® fluid, der bei pH 3,9 liegt, zurückführen.

In einer Studie von Nelson et al. wurde die Auswirkung verschiedener lokaler Fluoridierungsprodukte auf die Oberflächenmorphologie des Zahnschmelzes durch rasterelektronenmikroskopische Betrachtung untersucht. Bei den verwendeten Produkten handelte es sich um ein pH-neutrales NaF und zwei saure Produkte mit einem pH-Wert von 4. Die drei Fluoridprodukte wurden auf Schmelzproben appliziert und das jeweilige Produkt wirkte für 16 Stunden bei 37°C auf die Proben ein. Die Fluoridprodukte hinterlassen auf der Schmelzoberfläche nach Abwaschen des jeweiligen Gels bei allen Proben verschiedene abgelagerte Schichten, die je nach Vorbehandlung bestimmte Eigenschaften aufweisen. Die rasterelektronenmikroskopische Betrachtung ergab, dass die verschiedenen Fluoridprodukte alle zu einer Veränderung der Schmelzoberfläche im Sinne einer Anätzung führen. Es wird ein Ätzmuster unterschiedlicher Ausprägung, teilweise mit erkennbarer Prismenstruktur sichtbar. Der Grad der Anätzung hängt von dem jeweils verwendeten Produkt und dessen pH-Wert ab. Die zwei untersuchten sauren Fluoridgele mit einem pH-Wert von 4 zeigten eine deutliche Anätzung der Schmelzoberfläche, während das pH-neutrale Gel den geringsten Grad der Ätzung zeigte. Eine geätzte Schmelzoberfläche ist laut Nelson et al. allerdings notwendig, um zu gewährleisten, dass die CaF₂ Kristalle sich auf der Schmelzoberfläche als Schutz halten und nicht so schnell ausgewaschen werden. Fluoridprodukte eines sauren pH-Wertes seien wirksamer als Produkte eines neutralen pH-Wertes (Nelson et al., 1983).

In dieser Studie wurde wie auch in unserer Studie ein lokal anzuwendendes Fluoridprodukt verwendet, das ebenfalls über einen sauren pH-Wert von 3,9 verfügt. Das Ergebnis, dass dessen Anwendung zu einer rasterelektronenmikroskopisch sichtbaren Anätzung der Schmelzoberfläche führt, untermauert die These, dass das häufigere Auftreten sichtbarer Prismenstrukturen auf den Probenfeldern, die einer Fluoridierung ausgesetzt wurden, auf den sauren pH-Wert des Fluoridproduktes elmex® fluid zurückzuführen sein könnte. Dieser

These widerspricht jedoch die Tatsache, dass die Untersuchungen von Rütgens (2007) bei gleichem Versuchsaufbau bei der Fluoridierung von Schmelzproben nach Bleichbehandlung keine Erhöhung des Schmelzprismenaufkommens nach sich zog. Eine qualitative Aussage lässt sich hier aufgrund der geringen Probenzahl nicht tätigen. Auch der Chi-Quadrat-Test bestätigt, dass in dieser Versuchsreihe eine stochastische Unabhängigkeit zwischen der Behandlung der Schmelzproben mit elmex® fluid und dem Schmelzprismenvorkommen besteht. Die Beobachtung beruht vermutlich auf einer normalen Streuung der Merkmale. Ein Zusammenhang zwischen dem Schmelzprismenvorkommen und der Fluoridierung ließe sich erst durch weiterführende Studien mit repräsentativen Probenzahlen bestätigen.

4.4 Oberflächenmorphologie

Bezüglich der Oberflächenmorphologie der Zähne wurde in dieser Studie festgestellt, dass das Einwirken des Bleichgels Colgate Simply White® bei der Betrachtung der Oberfläche zunächst zu keinen strukturellen Veränderungen der Schmelzoberfläche der Zahnproben führt, vorausgesetzt die Anwendung erfolgt, wie auch hier, im Sinne der Anwendungsempfehlung des Herstellers. Die bei einigen Proben sichtbaren Prismenstrukturen zeigen eine Verteilung, die darauf schließen lässt, dass es sich dabei um ein unabhängig von der Bleichprozedur auftretendes Merkmal der Schmelzoberfläche handelt. Die Berechnung des Chi-Quadrats ergab, dass alle auftretenden Strukturmerkmale stochastisch unabhängig von der vorherigen Behandlung der Schmelzoberfläche sind. Es ist allerdings nicht auszuschließen, dass durch unsachgemäße Mehrfachanwendung Schmelzschäden im Sinne von Summationseffekten auftreten. Mögliche Schäden unterhalb der in dieser Studie betrachteten Schmelzoberflächen oder Veränderungen des Mineralgehalts sind hier ebenfalls nicht beurteilbar. Um derartige Schädigungen ausschließen zu können, wären weitere Untersuchungen notwendig.

In verschiedenen Studien wird der Aspekt der Strukturänderung von Schmelzoberflächen durch Bleichmittel konträr diskutiert.

Der H₂O₂-Gehalt von 5,9% im Produkt Colgate Simply White® gleicht in etwa dem H₂O₂-Gehalt von Bleichprodukten mit 10%igem Carbamidperoxid nach dessen Zerfall. Deshalb lassen sich Studien, die mit 10%igem Carbamidperoxid arbeiten, gut zum Vergleich mit dieser Studie heranziehen.

Auschill et al. untersuchten in einer Studie die Effektivität verschiedener Bleichtechniken und deren Auswirkungen auf die Schmelzoberfläche. Unter anderen Bleichmitteln wurde Illuminé® home als 10%iges Carbamidperoxidgel verwendet. Die Ergebnisse in Bezug auf dieses Produkt sind hier aufgrund der ähnlich geringen Wirkstoffkonzentration wie bei dem Produkt Simply White® von Colgate besonders interessant. Mit dem Ziel der Aufhellung der Ursprungszahnfarbe A4 auf die Farbe A3 wurden die Zahnproben so lange täglich 8 Stunden gebleicht, bis die gewünschte Zahnfarbe A3 erreicht war. Die für dieses Ergebnis nötige Bleichdauer betrug durchschnittlich ca. sieben Tage mit je 8-stündiger Bleichgelanwendung, was einer reinen Bleichdauer von 55 Stunden entspricht. Eine positive Kontrollfläche wurde für 30 Sekunden mit 37%iger Orthophosphorsäure behandelt, eine negative Kontrollfläche blieb unbehandelt. Bei der rasterelektronenmikroskopischen Betrachtung der Schmelzproben in 2000facher Vergrößerung konnten keinerlei Oberflächenveränderungen durch die Bleichprodukte festgestellt werden, während die positive Kontrollfläche deutliche Ätzmuster auf der Schmelzoberfläche zeigte (Auschill et al., 2002).

Das Ergebnis dieser Studie, dass die Bleichmittel keine Oberflächenveränderungen bewirken, bekräftigt das Ergebnis unserer Studie, denn auch hier konnte bei der Anwendung eines Bleichgels mit ähnlich hoch konzentriertem Wasserstoffperoxidgehalt für eine Gesamtdauer von 7 Stunden (wesentlich kürzere Anwendungsdauer als bei dem Produkt Illuminé®) kein Unterschied zwischen der Oberflächenmorphologie unbehandelter und gebleichter Schmelzfelder erkannt werden.

In einer aktuellen Studie von Willershausen et al. waren die Analyse der Oberflächenrauigkeit gebleichter Schmelzproben sowie deren Elementanalyse mittels Elektronenstrahlmikroskopie Gegenstand der Untersuchung. Es wurden also neben der Oberfläche auch tieferliegende Bereiche des Zahnschmelzes beurteilt. Der Kontakt der Schmelzproben mit verschiedenen Bleichmitteln führte zu einer Zunahme der Rauigkeitswerte und einer veränderten Mineralzusammensetzung. Die Anwendung eines niedrig konzentrierten Bleichgels (7,5% H₂O₂) führte zu geringeren Veränderungen als die Nutzung eines Power-Bleaching-Verfahrens mit 35%iger Wasserstoffperoxidkonzentration. Bei erosiver Vorschädigung der Schmelzproben waren die Zahnhartsubstanzschäden deutlich höher.

Die Ergebnisse der Studie weisen auf Schädigungen in tieferliegenden Schmelzabschnitten durch Bleichverfahren, vorwiegend aber durch Power-Bleaching-Verfahren, hin. Allerdings fehlt in der Versuchsanordnung die Berücksichtigung des Mundmilieus z.B. mittels eines pH-Cyclings. Die Lagerung erfolgte in physiologischer Kochsalzlösung mit

einem pH-Wert von pH 6,5. Typische De- und Remineralisationsphasen fließen nicht in die Untersuchung mit ein (Willershäusen et al., 2007).

Efeoglu et al. erkannten in ihrer Studie ebenfalls eine Demineralisation der Schmelzoberfläche durch Bleichgelbehandlung. In der besagten Studie wurde der Einfluss von 10% Carbamidperoxid auf die Schmelzoberfläche untersucht. Das Bleichgel wurde über einen Zeitraum von 15 Tagen täglich für 8 Stunden auf Schmelzproben extrahierter Zähne belassen. Zwischen den Bleichphasen wurden die Schmelzproben in künstlichem Speichel aufgehoben, um eine Remineralisationsphase zu simulieren. Die spätere Auswertung erfolgte mit Hilfe von Mikro-CT-Bildern, die die Situation vor und nach dem Bleichen darstellten. Es stellte sich heraus, dass eine Demineralisation bis in eine Tiefe von 50µm unterhalb der Schmelzoberfläche durch die Carbamidperoxideinwirkung entstand (Efeoglu et al., 2005).

Gemeinsamkeiten der Studie im Vergleich zu unserer Studie bestehen in der Anwendung eines vergleichbaren H₂O₂-Gehalts für den Bleichprozess sowie darin, dass die Proben wie auch in unserer Studie zwischen den Bleichbehandlungen (zur Remineralisation) in künstlichem Speichel aufgehoben wurden. Die Einwirkzeit des Bleichgels übersteigt jedoch bei weitem die Zeit, der die Proben unserer Studie dem Produkt Simply White von Colgate ausgesetzt waren. Die Zeit der Bleichgelbehandlung betrug hier insgesamt nur eine halbe Stunde täglich, das heißt nur 7,5% der in der Studie von Efeoglu et al. (2005) angegebenen Dauer der täglichen Aufhellungsbehandlung. Möglicherweise führt die erhöhte Dauer der Bleichgeleinwirkung auf die Schmelzflächen zu einer Veränderung der Oberflächenstruktur.

Auch andere Autoren bestätigen bei der Anwendung von Bleichgelen eine Veränderung der Schmelzoberfläche. Dabei ist jedoch die Dauer der Anwendung sowie die Konzentration des Bleichmittels differenziert zu betrachten, da diese Faktoren die Ergebnisse möglicherweise beeinflussen.

In einer Studie von Bitter (1992) wurden drei verschiedene Home-Bleaching-Systeme getestet: Rembrandt Lighten® (pH 6,8), ein zweites Bleichprodukt war Ultra White® mit 10% Carbamidperoxid, das letzte untersuchte Bleichprodukt Natural White®. Die Bleichmittel wurden laut Herstellerangaben mit einer Gesamtdauer von 30 Stunden auf die Zähne aufgetragen. Die rasterelektronenmikroskopische Betrachtung ergab, dass die Bleichgelanwendung aller drei Produkte zu einer Oberflächenveränderung im Sinne von Auflösungserscheinungen und erhöhter Porosität der Schmelzstruktur, die allerdings unter-

schiedlich stark ausfiel, führte . Die Einwirkzeit des Bleichgels von 30 Stunden übersteigt auch hier die Einwirkzeit in unserer Studie (7 Stunden) um ein Vielfaches.

In einer Studie von Spalding wurde ebenfalls der Effekt von Bleichgel auf die Oberflächenmorphologie des Zahnschmelzes untersucht und bei der rasterelektronenmikroskopischen Untersuchung der bleichgelbehandelten Proben einer der Versuchsgruppen, in denen 10%iges Carbamidperoxid Anwendung fand, eine glatte und glänzende Oberflächenstruktur des Schmelzes diagnostiziert. Dieses wurde als Abflachung der natürlichen Oberfläche bewertet. Die Proben wurden einmalig mit 35% H_2O_2 (10 Minuten unter Lichtaktivierung und daraufhin weitere 10 Minuten ohne Lichtaktivierung) und anschließend eine Woche lang täglich 12 Stunden mit 10%igem Carbamidperoxid behandelt und 12 Stunden in Speichel ($\text{pH}=6,8-7$) gelagert (Spalding, 2003). Der Unterschied zu unserer Studie bestand in der Anwendung des höher konzentrierten 35%igen H_2O_2 vor der Carbamidperoxidbehandlung und in der zudem deutlich längeren Einwirkzeit des Carbamidperoxids. Spalding selbst stellte in seiner Studie bei einer anderen Versuchsgruppe mit alleiniger Behandlung der Proben mit 35%igem H_2O_2 fest, dass im Vergleich zur Kontrollgruppe im Bereich des zentral gelegenen Schmelzes deutlichere und dichter gesäte Vertiefungen der Schmelzprismenstruktur vorkamen.

Ähnliche Beobachtungen in Bezug auf hoch konzentrierte Bleichprodukte machten auch Pinto et al. (2004) in ihrer In-vitro-Studie zur Bestimmung von Mikrohärtigkeit, Oberflächenrauigkeit und Oberflächenmorphologie von Schmelzproben nach Anwendung verschiedener Bleichprodukte.

In einer In-vitro-Studie von Pinto et al. (2004) wurden Schmelzproben der Bleichwirkung sechs verschiedener Bleichprodukte ausgesetzt und anschließend deren Mikrohärtigkeit, Oberflächenrauigkeit und Oberflächenmorphologie vergleichend untersucht.

Die in der Studie verwendeten Bleichprodukte waren Whiteness Perfect® und Colgate Platinum®, die beide einen Carbamidperoxidgehalt von 10% ähnlich dem in dieser Studie verwendeten Bleichmittel Colgate Simply White® mit einer 5,9%igen H_2O_2 -Konzentration enthalten. Hier wurde die tägliche Einwirkzeit jedoch deutlich länger gewählt: Whiteness Perfect®: 1x täglich 6 Stunden über eine Gesamtdauer von 14 Tagen / Colgate Platinum® 1x täglich 6 Stunden über eine Gesamtdauer von 5 Tagen. Das Bleichmittel Day White 2Z® wurde in der Studie ebenfalls untersucht. Die Anwendungsform der täglich 30-minütigen Applikation über eine Dauer von 14 Tagen entspricht der Anwendungsweise von Colgate Simply White® in dieser Studie, wobei das Bleichprodukt jedoch 7,5% H_2O_2 enthält, was einem höheren Wasserstoffperoxidgehalt entspricht als den im Produkt Colgate Simp-

ly White® enthaltenen 5,9% H₂O₂. Die 3 weiteren in der Studie untersuchten Bleichprodukte sind weit höher konzentriert (Whiteness Super®: 37% Carbamidperoxid, Opalescence® Quick: 35% Carbamidperoxid, Whiteness HP®: 35% Wasserstoffperoxid).

Nach der Bleichbehandlung wurde bei allen Proben eine Zunahme der Oberflächenrauigkeit festgestellt, wobei die dem 35%igen Wasserstoffperoxid ausgesetzten Proben im Vergleich wesentlich höhere Werte anzeigten. Dies wurde durch die rasterelektronenmikroskopische Betrachtung, die ebenfalls eine Veränderung der Oberflächenmorphologie des Schmelzes im Sinne einer interprismatischen Auflösung aller mit Bleichgel behandelten Flächen zeigte, zusätzlich untermauert. Eine besonders starke Veränderung zeigte sich hier ebenfalls bei der mit 35%igem Wasserstoffperoxid behandelten Probe. Die Mikrohärtigkeit des Schmelzes aller bleichgelbehandelten Flächen wurde ebenfalls reduziert (Pinto et al., 2004).

McCracken und Haywood stellten zwar einen Calciumverlust von Schmelzproben unter Einwirkung von 10% Carbamidperoxid fest, jedoch wird das Ergebnis durch einen Vergleich mit dem Calciumverlust nach Einwirkung von Cola auf Schmelzproben relativiert.

In der In-vitro-Studie wurde durch spektrophotometrische Messung die Zunahme des Calciumgehalts einer Lösung gemessen, nachdem darin Schmelzproben unter Zugabe von 10% Carbamidperoxid für sechs Stunden einwirkten. Zum Vergleich wurde der Calciumgehalt einer Lösung gemessen, nachdem darin Schmelzproben unter Zugabe von Cola für 2,5 Minuten einwirkten. Durch diese Versuchsanordnung sollte der Calciumverlust des Zahnschmelzes durch die Bleichgeleinwirkung von 10%igem Carbamidperoxid bestimmt werden. Der Calciumverlust betrug $1,061 \pm 0,165 \mu\text{g}/\text{mm}^2$, bei der Kontrollgruppe betrug der Calciumverlust etwa $\frac{1}{4}$ dieses Wertes, während die Colaeinwirkung trotz der deutlich kürzeren Einwirkzeit sogar einen etwas höheren Calciumverlust bewirkte (Mc Cracken und Haywood, 1996).

Die in einer Studie von Joiner und Thakker untersuchte Mikrohärtigkeit von Zahnproben nach Anwendung des Bleichgels Xtra White® zeigte im Vergleich zu den mit einem Placebo-Gel behandelten Schmelzproben keine deutlichen Unterschiede in der Mikrohärtigkeit zwischen den Proben (Joiner und Thakker, 2004).

In einer Studie von Zalkind et al. wurden verschiedene Bleichmaterialien bezüglich ihrer Wirkung auf die Morphologie von Schmelz, Dentin und Zement getestet. Die untersuchten Bleichprodukte waren 30% H₂O₂, 10% Carbamidperoxid, Natriumperborat, Nu-Smile®, Opalescence® und DentlBright®. Unterschiedliche Zahnhartsubstanzproben wurden jeweils für sieben Tage bei einer Temperatur von 37°C in die verschiedenen Bleichgele eingelegt.

Die rasterelektronenmikroskopische Untersuchung der entsprechend vorbehandelten Proben ergab in Bezug auf die im Vergleich mit dieser Studie interessanten Schmelzoberfläche, dass das 30%ige H₂O₂, Nu-Smile® und DentlBright® zu einem ausgedehnten Abflachen und einer erhöhten Porosität der Oberfläche führten, während das Produkt Opalescence® und 10%iges Carbamidperoxid keine Oberflächenveränderungen nach Bleichgelanwendung aufwiesen (Zalkind et al., 1996). Dieses Erkenntnis bestätigt auch die Ergebnisse dieser Studie. In beiden Versuchen konnte nach der Anwendung eines vergleichbaren H₂O₂-Gehalts rasterelektronenmikroskopisch keine veränderte Oberflächenmorphologie des Schmelzes erkannt werden.

4.5 Resümee

Insgesamt betrachtet kann man das Produkt Simply White® von Colgate als sicheres Homebleaching-System empfehlen. Bezüglich der Oberflächenstruktur des Zahnschmelzes konnten nach einmaligem Anwendungszyklus keine negativen Einflüsse durch das Bleichmittel festgestellt werden. Prismenstrukturen, welche eine demineralisierende Wirkung beweisen könnten, traten rasterelektronenmikroskopisch in zufälliger Verteilung unabhängig von der Vorbehandlung durch das Bleichmittel auf und auch die übrigen untersuchten Schmelzmerkmale (Schmelzrisse, Schleifspuren, Detritus) konnten nicht mit der Bleichbehandlung in Zusammenhang gebracht werden. Es zeigte sich eine physiologische Verteilung typischer Strukturmerkmale des Zahnschmelzes.

Das Bleichergebnis war ebenfalls zufrieden stellend. Beim Großteil der Proben wurde eine Aufhellung der Zahnfarbe sichtbar. Die Helligkeit der Zahnfarbe nahm im Durchschnitt zu und die Intensität ab. Diese Entwicklung bewirkt beim Betrachter das Bild einer helleren Zahnfarbe. Der Farbton änderte sich hingegen kaum.

Kritisch ist jedoch anzumerken, dass der Anwendungsaufwand zum Beispiel im Vergleich zum Produkt Perfect Bleach® von Voco bei einem schlechteren Aufhellungsergebnis größer ist.

Klinische Besonderheiten wie Hypersensibilitäten oder Gingivairritationen konnten durch diese In-vitro-Studie nicht erfasst werden. Diese klinischen Nebenwirkungen könnten in einer weiterführenden In-vivo-Studie untersucht werden.

5 Zusammenfassung

In dieser In-vitro-Studie wurde das Homebleaching-Produkt Simply White® von Colgate auf dessen Bleichwirkung sowie dessen Auswirkung auf die Oberflächenstruktur von Zahnschmelz untersucht.

Es wurden 20 Schmelzproben aus den Vestibularflächen von menschlichen Frontzähnen gewonnen. Die 3x3 mm großen Proben wurden durch ein mittiges Sägekrenz in 4 Felder untergliedert. Die Lagerung der Proben erfolgte in künstlichem Speichel. Die verschiedenen Felder der Schmelzproben wurden während der ersten 14 Tage der Studie unterschiedlich behandelt. Das Feld 1 diente als negative Kontrolle und blieb unbehandelt, Feld 2 wurde einmalig nach 14 Tagen fluoridiert, Feld 3 und 4 wurden entsprechend der Produktinformation von Colgate® über einen Zeitraum von 14 Tagen 2-mal täglich der Wirkung des Bleichgels für 15 min ausgesetzt. Das Feld 3 wurde zusätzlich nach dem 14-tägigen Bleichen einmalig fluoridiert. An den Schmelzproben erfolgte während der Behandlungsdauer täglich eine Farbbestimmung durch den Vitapan-3D-Master®-System. Auf diese 14-tägige, unterschiedliche Behandlung der Flächen folgte ein zehntägiges pH-Cycling. Die Schmelzproben wurden täglich 8 Stunden der Wirkung eines Acetatpuffers mit einem pH-Wert von pH 4,4 und 16 Stunden der Wirkung eines Kakodylatpuffers mit einem pH-Wert von pH 7,4 ausgesetzt. Anschließend wurde wiederum die Zahnfarbe der Proben bestimmt. Zur Auswertung der Oberflächenmorphologie der Schmelzproben wurden diese besputtert und rasterelektronenmikroskopische Bilder von 10 Proben und deren 4 Probenfeldern erstellt.

Bezüglich der durchschnittlichen Farbentwicklung der Zahnfarbe der Schmelzproben durch das Bleichmittel zeigte sich eine Zunahme der Helligkeit um 1,05 Helligkeitsstufen, eine Reduktion der Intensität um eine Intensitätsstufe sowie eine Zunahme des Farbtons um 0,05 Farbtonstufen. Die Anwendung des Bleichgels hat offensichtlich keinen Effekt auf die Schmelzstruktur. Die beobachteten Merkmale auf der Schmelzoberfläche, die bei der rasterelektronenmikroskopischen Betrachtung auffielen, waren Detritus, Schmelzrisse, Schleifspuren und Schmelzprismen. Es ließen sich jedoch keine Merkmale, die eine Abhängigkeit von der Behandlungsweise der entsprechenden Schmelzfelder zeigten, ermitteln. Die stochastische Unabhängigkeit wurde durch den Chi-Quadrat-Test bewiesen. Detritus und Schmelzrisse sind als Artefakte zu deuten, die Schleifspuren und Schmelzprismen beschreiben natürliche Strukturmerkmale des Schmelzes.

6 Anhang

6.1 Farbergebnistabellen

Die folgenden Tabellen beinhalten die ermittelten Werte für die Farbbestimmung der Schmelzproben. Erfasst sind die Ausgangsfarbe, die täglich bestimmte Farbe während des 14-tägigen Bleichprozesses, die Zahnfarbe nach der Fluoridierung und nach dem pH-Cycling. Die Farbdimensionen Helligkeit, Farbton und Intensität wurden für die Zahnfarbe getrennt beurteilt und finden sich in den entsprechenden Werten wieder. Die Werte für die Farbhelligkeit bewegen sich von 1-5 von hell nach dunkel; die Farbintensität umfasst Werte von 1-5 von blass nach satt und bezüglich des Farbtons bedeutet 1 gelblich, 3 rötlich und 2 beschreibt einen neutralen Farbton (Abb. 48)

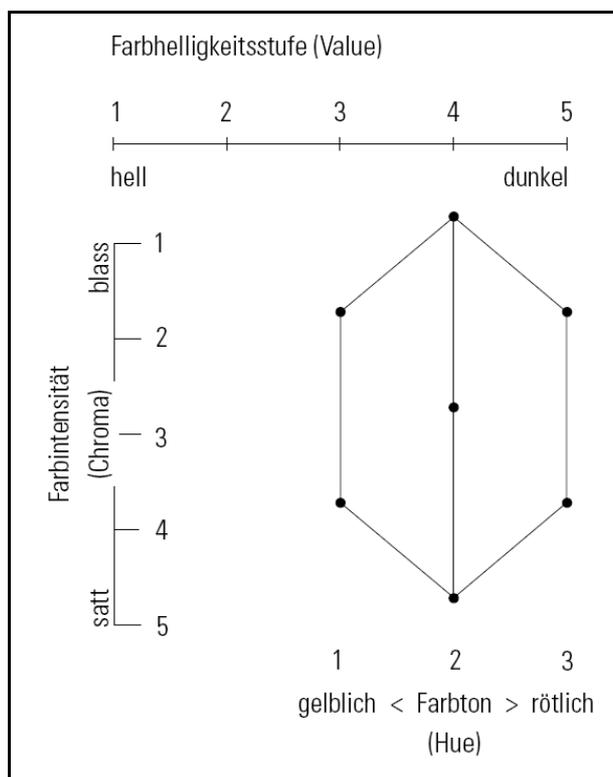


Abb. 48: Darstellung der 3 Farbdimensionen mit der Bedeutung der Wertebereiche für Farbhelligkeit, Farbintensität und Farbton (modifiziert nach Vita System 3D-Master® Produktinformation).

Schmelzprobe 1

	Helligkeit	Farbton	Intensität
Ausgangsfarbe	2	2	3
Tag 1	2	2	3
Tag 2	2	2	3
Tag 3	2	2	3
Tag 4	2	2	3
Tag 5	2	1	2
Tag 6	2	1	2
Tag 7	2	1	2
Tag 8	2	1	2
Tag 9	2	1	2
Tag10	2	1	2
Tag 11	1	2	1
Tag 12	1	2	1
Tag 13	1	2	1
Tag 14	1	2	1
nach Fluoridierung	1	2	1
nach pH-Cycling	1	2	1

Schmelzprobe 2

	Helligkeit	Farbton	Intensität
Ausgangsfarbe	4	1	2
Tag 1	4	1	2
Tag 2	4	1	2
Tag 3	4	1	2
Tag 4	4	1	2
Tag 5	4	1	2
Tag 6	4	1	2
Tag 7	4	1	2
Tag 8	4	1	2
Tag 9	4	1	2
Tag10	4	1	2
Tag 11	4	1	2
Tag 12	4	1	2
Tag 13	3	2	1
Tag 14	3	2	1
nach Fluoridierung	3	2	1
nach pH-Cycling	3	2	1

Schmelzprobe 3

	Helligkeit	Farbton	Intensität
Ausgangsfarbe	4	1	2
Tag 1	4	1	2
Tag 2	4	1	2
Tag 3	4	1	2
Tag 4	4	1	2
Tag 5	3	1	2
Tag 6	3	1	2
Tag 7	2	2	1
Tag 8	2	2	1
Tag 9	2	2	1
Tag10	2	2	1
Tag 11	2	2	1
Tag 12	2	1	2
Tag 13	2	1	2
Tag 14	2	1	2
nach Fluoridierung	2	1	2
nach pH-Cycling	2	1	2

Schmelzprobe 4

	Helligkeit	Farbton	Intensität
Ausgangsfarbe	3	3	4
Tag 1	3	3	4
Tag 2	3	3	4
Tag 3	3	3	4
Tag 4	3	3	4
Tag 5	3	3	4
Tag 6	3	2	3
Tag 7	3	2	3
Tag 8	3	2	3
Tag 9	3	2	3
Tag10	3	2	3
Tag 11	3	2	3
Tag 12	3	2	3
Tag 13	3	2	3
Tag 14	3	2	3
nach Fluoridierung	3	2	3
nach pH-Cycling	3	2	3

Schmelzprobe 5

	Helligkeit	Farbton	Intensität
Ausgangsfarbe	3	2	2
Tag 1	3	2	2
Tag 2	3	2	2
Tag 3	3	2	2
Tag 4	3	2	2
Tag 5	3	2	2
Tag 6	3	2	2
Tag 7	2	2	2
Tag 8	2	2	2
Tag 9	2	2	2
Tag10	2	2	2
Tag 11	2	2	2
Tag 12	2	2	2
Tag 13	2	2	2
Tag 14	2	2	2
nach Fluoridierung	2	2	2
nach pH-Cycling	2	2	2

Schmelzprobe 6

	Helligkeit	Farbton	Intensität
Ausgangsfarbe	4	2	3
Tag 1	4	2	3
Tag 2	4	2	3
Tag 3	4	2	3
Tag 4	4	2	3
Tag 5	4	2	3
Tag 6	3	2	1
Tag 7	3	2	1
Tag 8	3	2	1
Tag 9	3	2	1
Tag10	3	2	1
Tag 11	3	2	1
Tag 12	3	2	1
Tag 13	3	2	1
Tag 14	3	2	1
nach Fluoridierung	3	2	1
nach pH-Cycling	3	2	1

Schmelzprobe 7

	Helligkeit	Farbton	Intensität
Ausgangsfarbe	4	3	4
Tag 1	3	3	4
Tag 2	3	3	4
Tag 3	3	3	4
Tag 4	3	3	4
Tag 5	3	3	4
Tag 6	3	3	4
Tag 7	2	2	1
Tag 8	2	2	1
Tag 9	2	2	1
Tag10	2	2	1
Tag 11	2	2	1
Tag 12	2	2	1
Tag 13	2	1	2
Tag 14	2	1	2
nach Fluoridierung	2	1	2
nach pH-Cycling	2	1	2

Schmelzprobe 8

	Helligkeit	Farbton	Intensität
Ausgangsfarbe	4	3	2
Tag 1	4	3	2
Tag 2	4	3	2
Tag 3	4	3	2
Tag 4	4	3	2
Tag 5	4	3	2
Tag 6	4	3	2
Tag 7	3	3	2
Tag 8	3	3	2
Tag 9	3	3	2
Tag10	3	3	2
Tag 11	3	3	2
Tag 12	3	3	2
Tag 13	3	3	2
Tag 14	2	3	2
nach Fluoridierung	2	3	2
nach pH-Cycling	2	3	2

Schmelzprobe 9

	Helligkeit	Farbton	Intensität
Ausgangsfarbe	4	1	4
Tag 1	4	1	4
Tag 2	4	1	4
Tag 3	3	1	4
Tag 4	3	1	4
Tag 5	3	1	4
Tag 6	3	1	4
Tag 7	3	1	4
Tag 8	2	1	4
Tag 9	2	1	4
Tag10	2	1	4
Tag 11	2	1	4
Tag 12	2	1	4
Tag 13	2	1	2
Tag 14	2	1	2
nach Fluoridierung	2	1	2
nach pH-Cycling	2	1	2

Schmelzprobe 10

	Helligkeit	Farbton	Intensität
Ausgangsfarbe	3	2	3
Tag 1	3	2	3
Tag 2	3	2	3
Tag 3	3	2	3
Tag 4	3	2	3
Tag 5	3	2	3
Tag 6	3	2	3
Tag 7	3	2	3
Tag 8	3	2	3
Tag 9	3	2	3
Tag10	3	2	3
Tag 11	3	2	3
Tag 12	3	2	3
Tag 13	3	2	3
Tag 14	3	2	3
nach Fluoridierung	3	2	3
nach pH-Cycling	3	2	3

Schmelzprobe 11

	Helligkeit	Farbton	Intensität
Ausgangsfarbe	3	2	5
Tag 1	3	2	5
Tag 2	3	2	5
Tag 3	3	2	5
Tag 4	3	1	4
Tag 5	3	1	4
Tag 6	3	1	4
Tag 7	3	1	3
Tag 8	3	1	3
Tag 9	3	1	3
Tag10	3	1	3
Tag 11	3	1	3
Tag 12	2	2	2
Tag 13	2	2	2
Tag 14	2	2	2
nach Fluoridierung	2	2	2
nach pH-Cycling	2	2	2

Schmelzprobe 12

	Helligkeit	Farbton	Intensität
Ausgangsfarbe	5	2	1
Tag 1	5	2	1
Tag 2	5	2	1
Tag 3	5	2	1
Tag 4	5	2	1
Tag 5	5	2	1
Tag 6	4	2	1
Tag 7	4	2	1
Tag 8	4	2	1
Tag 9	4	2	1
Tag10	4	2	1
Tag 11	4	2	1
Tag 12	4	2	1
Tag 13	4	2	1
Tag 14	4	2	1
nach Fluoridierung	4	2	1
nach pH-Cycling	4	2	1

Schmelzprobe 13

	Helligkeit	Farbton	Intensität
Ausgangsfarbe	3	1	2
Tag 1	3	1	2
Tag 2	2	1	2
Tag 3	2	1	2
Tag 4	2	1	2
Tag 5	2	1	2
Tag 6	2	1	2
Tag 7	1	2	3
Tag 8	1	2	3
Tag 9	1	2	3
Tag10	1	2	3
Tag 11	1	2	3
Tag 12	1	2	3
Tag 13	1	2	3
Tag 14	1	2	3
nach Fluoridierung	1	2	3
nach pH-Cycling	1	2	3

Schmelzprobe 14

	Helligkeit	Farbton	Intensität
Ausgangsfarbe	3	1	2
Tag 1	3	1	2
Tag 2	3	1	2
Tag 3	3	1	2
Tag 4	3	1	2
Tag 5	2	1	2
Tag 6	2	1	2
Tag 7	2	1	2
Tag 8	2	1	2
Tag 9	2	1	2
Tag10	2	1	2
Tag 11	2	1	2
Tag 12	2	1	2
Tag 13	2	1	2
Tag 14	2	1	2
nach Fluoridierung	2	1	2
nach pH-Cycling	2	1	2

Schmelzprobe 15

	Helligkeit	Farbton	Intensität
Ausgangsfarbe	3	1	4
Tag 1	3	1	4
Tag 2	3	1	4
Tag 3	3	1	4
Tag 4	3	1	4
Tag 5	3	1	4
Tag 6	3	1	4
Tag 7	3	1	4
Tag 8	3	1	4
Tag 9	2	3	2
Tag10	2	3	2
Tag 11	2	3	2
Tag 12	2	3	2
Tag 13	2	3	2
Tag 14	2	3	2
nach Fluoridierung	2	3	2
nach pH-Cycling	2	3	2

Schmelzprobe 16

	Helligkeit	Farbton	Intensität
Ausgangsfarbe	2	2	5
Tag 1	2	2	5
Tag 2	2	2	5
Tag 3	2	2	5
Tag 4	2	2	5
Tag 5	2	2	5
Tag 6	2	1	2
Tag 7	2	1	2
Tag 8	2	1	2
Tag 9	2	1	2
Tag10	2	1	2
Tag 11	2	1	2
Tag 12	2	1	2
Tag 13	2	1	2
Tag 14	2	1	2
nach Fluoridierung	2	1	2
nach pH-Cycling	2	1	2

Schmelzprobe 17

	Helligkeit	Farbton	Intensität
Ausgangsfarbe	3	2	3
Tag 1	3	2	3
Tag 2	3	2	3
Tag 3	3	2	3
Tag 4	3	2	3
Tag 5	3	2	3
Tag 6	3	2	3
Tag 7	3	2	1
Tag 8	3	2	1
Tag 9	3	2	1
Tag10	3	2	1
Tag 11	3	2	1
Tag 12	3	2	1
Tag 13	3	2	1
Tag 14	3	2	1
nach Fluoridierung	3	2	1
nach pH-Cycling	3	2	1

Schmelzprobe 18

	Helligkeit	Farbton	Intensität
Ausgangsfarbe	3	2	1
Tag 1	3	2	1
Tag 2	2	2	1
Tag 3	2	2	1
Tag 4	2	2	1
Tag 5	2	2	1
Tag 6	2	2	1
Tag 7	2	2	1
Tag 8	2	2	1
Tag 9	2	2	1
Tag10	2	2	1
Tag 11	2	2	1
Tag 12	2	2	1
Tag 13	1	2	3
Tag 14	1	2	3
nach Fluoridierung	1	2	3
nach pH-Cycling	1	2	3

Schmelzprobe 19

	Helligkeit	Farbton	Intensität
Ausgangsfarbe	3	3	4
Tag 1	3	3	4
Tag 2	3	3	4
Tag 3	3	3	4
Tag 4	3	3	4
Tag 5	3	3	4
Tag 6	3	3	4
Tag 7	2	2	1
Tag 8	2	2	1
Tag 9	2	2	1
Tag10	2	2	1
Tag 11	2	2	1
Tag 12	2	2	1
Tag 13	2	2	1
Tag 14	2	2	1
nach Fluoridierung	2	2	1
nach pH-Cycling	2	2	1

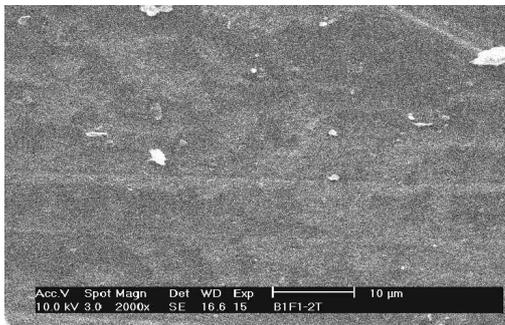
Schmelzprobe 20

	Helligkeit	Farbton	Intensität
Ausgangsfarbe	2	1	4
Tag 1	2	1	4
Tag 2	2	1	4
Tag 3	2	1	4
Tag 4	2	1	4
Tag 5	2	1	4
Tag 6	2	1	4
Tag 7	2	1	4
Tag 8	2	1	4
Tag 9	2	1	4
Tag10	2	1	4
Tag 11	2	1	4
Tag 12	2	1	4
Tag 13	2	1	4
Tag 14	2	1	4
nach Fluoridierung	2	1	4
nach pH-Cycling	2	1	4

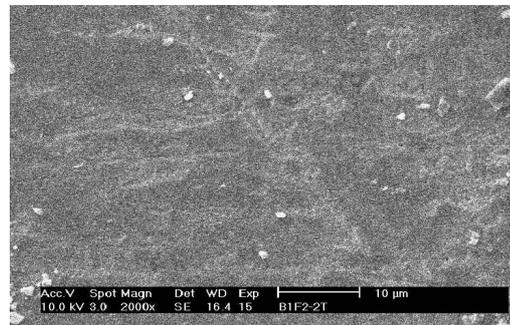
6.2 REM Bilder

Die nachfolgenden rasterelektronenmikroskopischen Bilder zeigen die Oberflächenstruktur der vier unterschiedlich behandelten Felder (unbehandelt, fluoridiert, gebleicht, gebleicht und fluoridiert) der untersuchten 10 Schmelzproben.

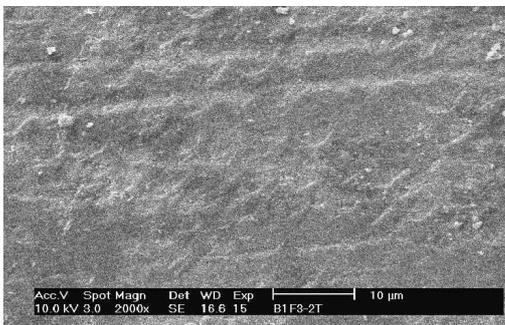
Schmelzprobe 1



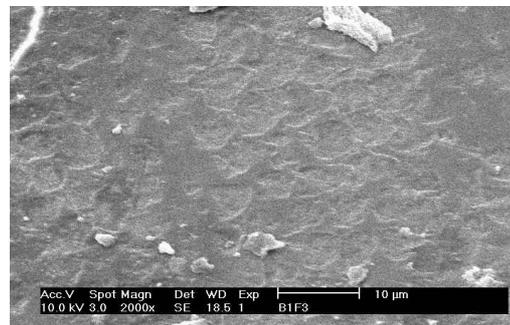
unbehandelt



fluoridiert

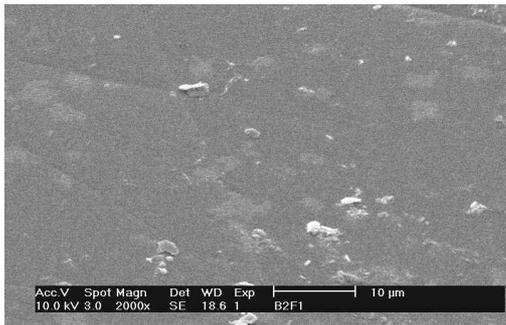


gebleicht

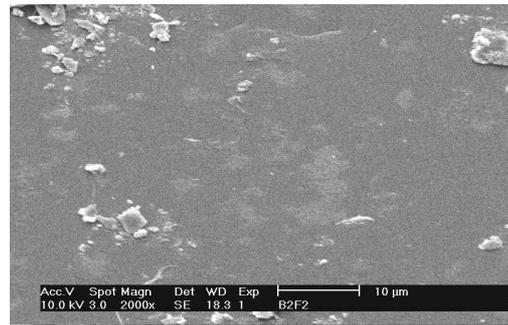


gebleicht & fluoridiert

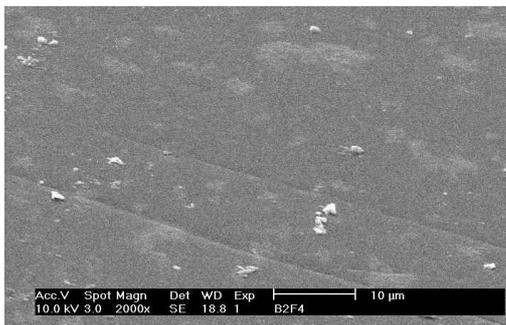
Schmelzprobe 2



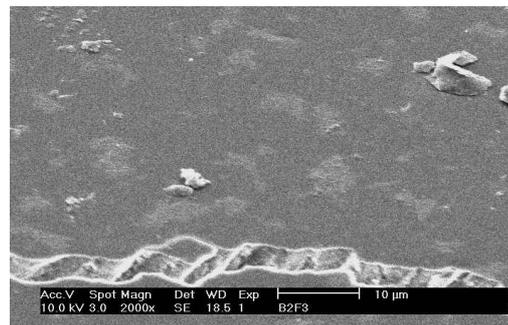
unbehandelt



fluoridiert

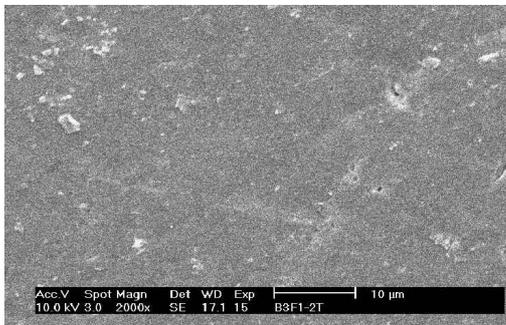


gebleicht

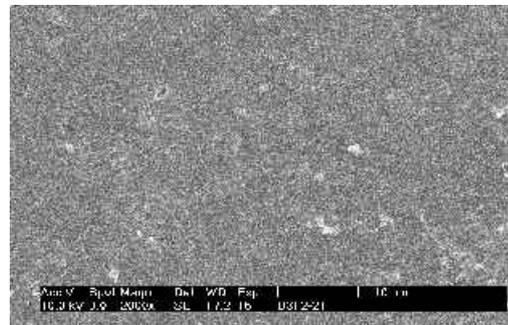


gebleicht & fluoridiert

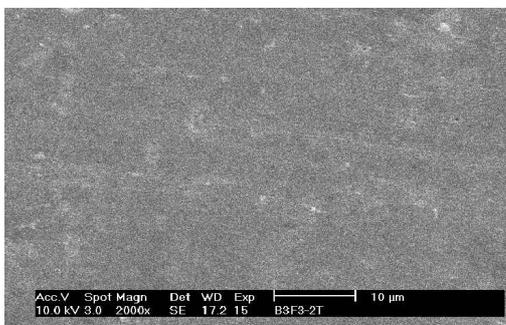
Schmelzprobe 3



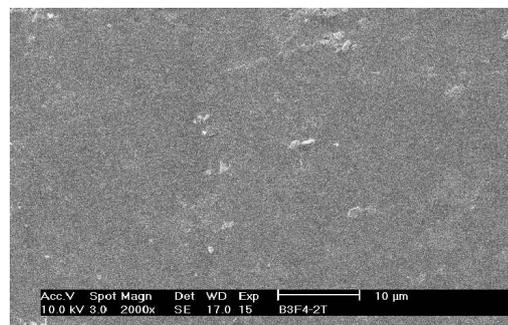
unbehandelt



fluoridiert

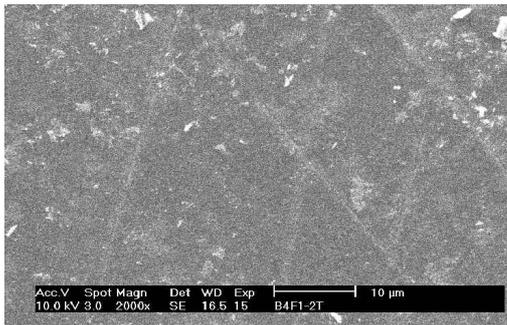


gebleicht

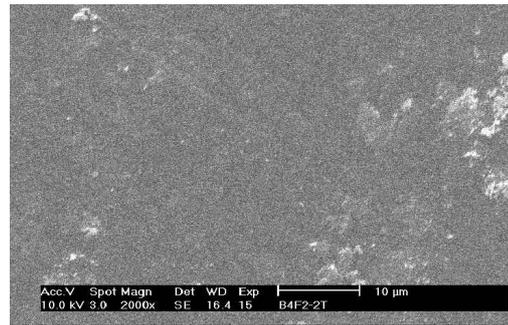


gebleicht & fluoridiert

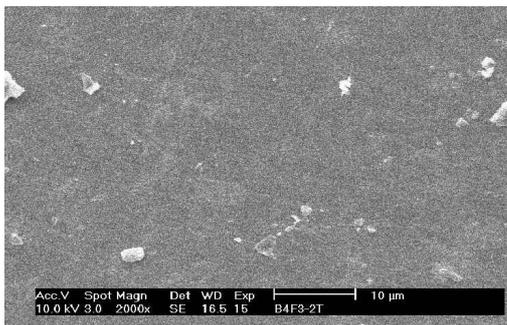
Schmelzprobe 4



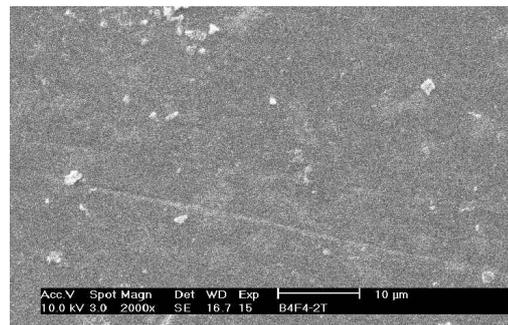
unbehandelt



fluoridiert

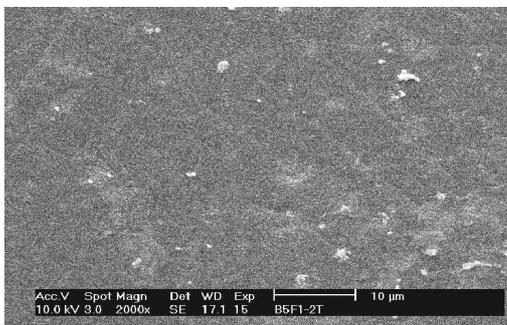


gebleicht

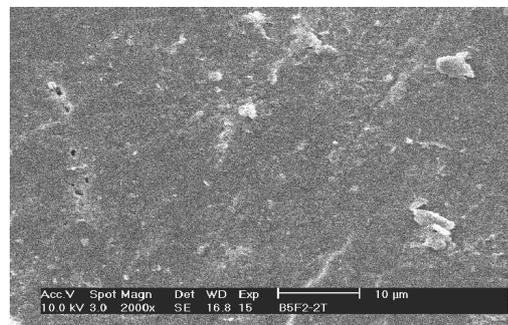


gebleicht & fluoridiert

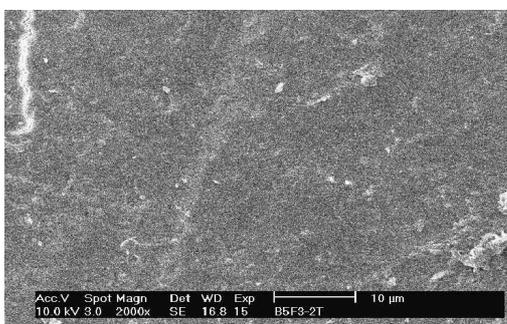
Schmelzprobe 5



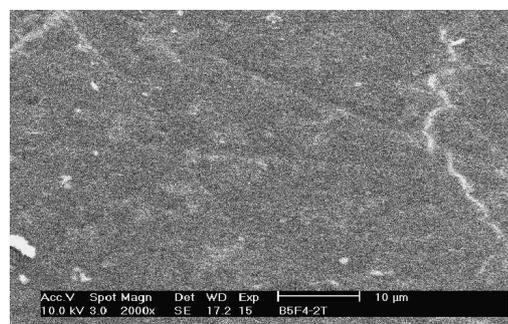
unbehandelt



fluoridiert

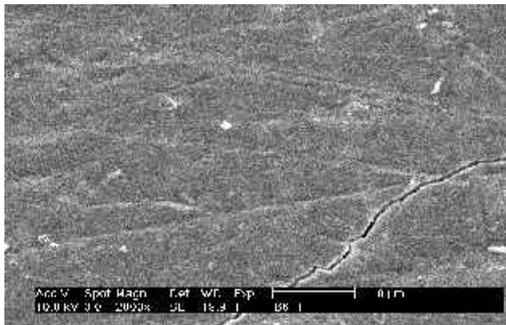


gebleicht

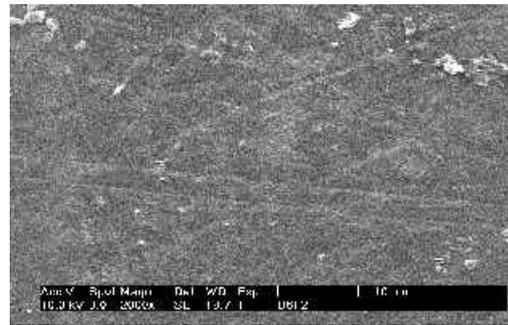


gebleicht & fluoridiert

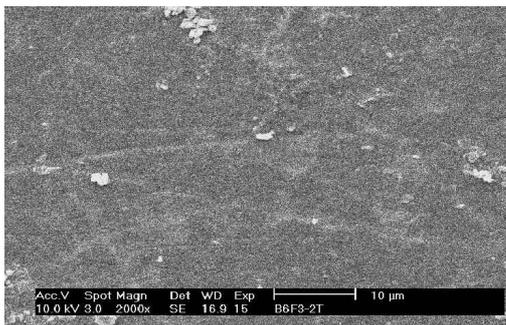
Schmelzprobe 6



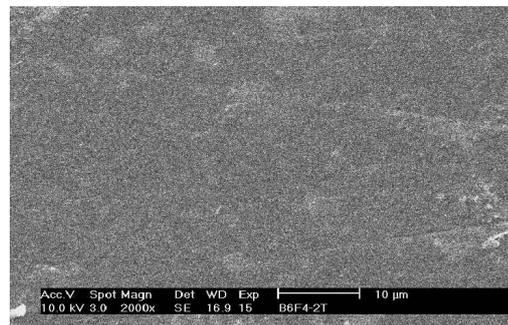
unbehandelt



fluoridiert

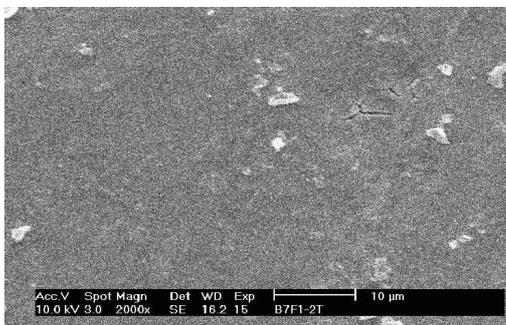


gebleicht

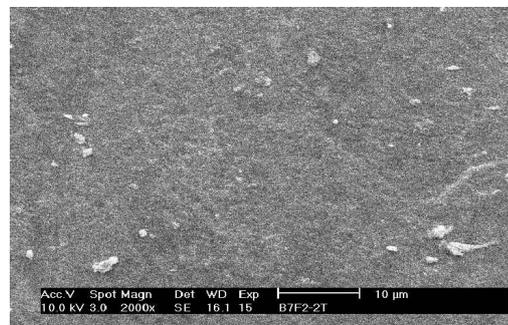


gebleicht & fluoridiert

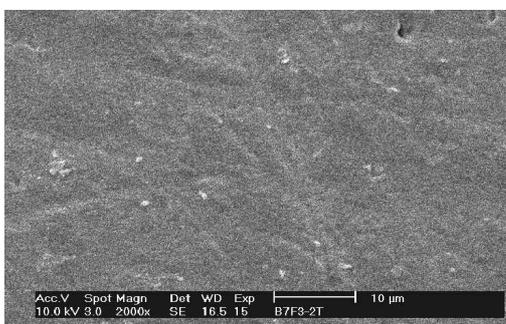
Schmelzprobe 7



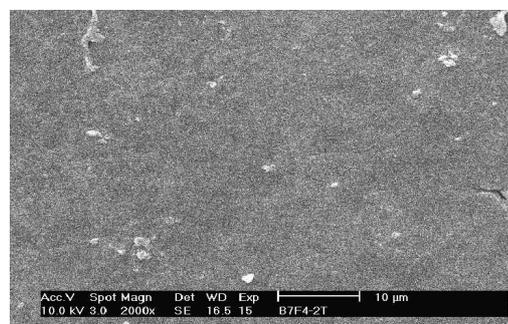
unbehandelt



fluoridiert

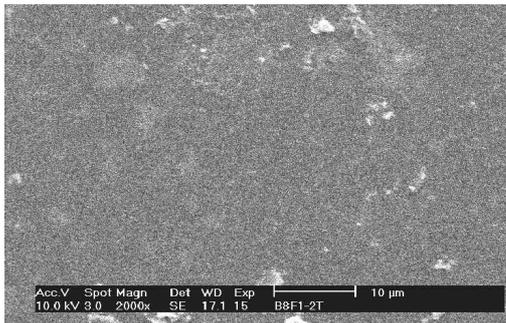


gebleicht

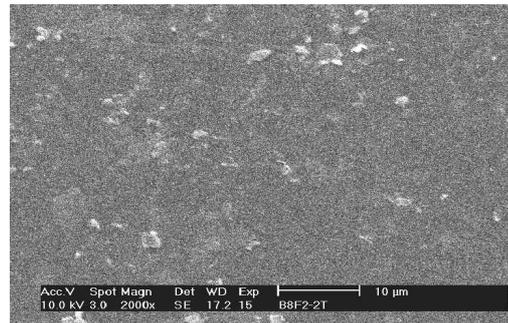


gebleicht & fluoridiert

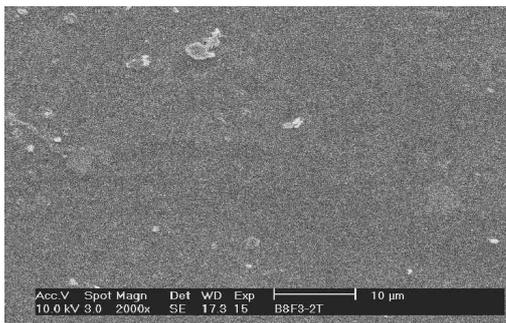
Schmelzprobe 8



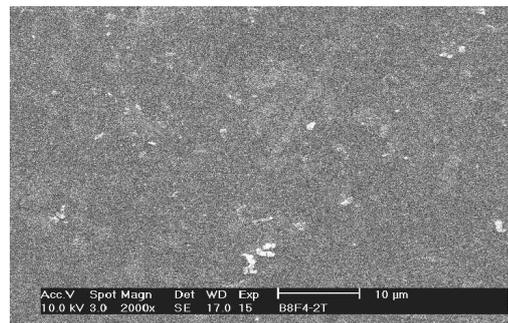
unbehandelt



fluoridiert



gebleicht

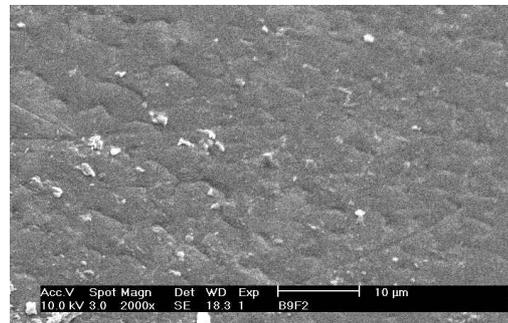


gebleicht & fluoridiert

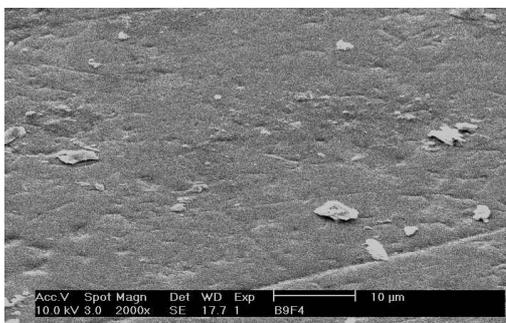
Schmelzprobe 9



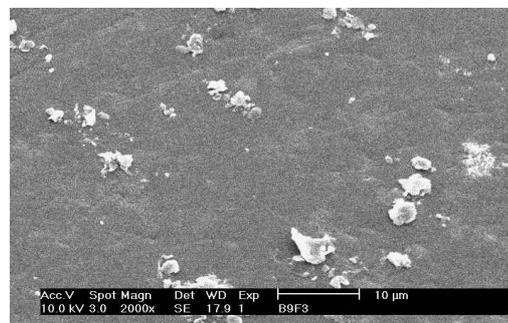
unbehandelt



fluoridiert

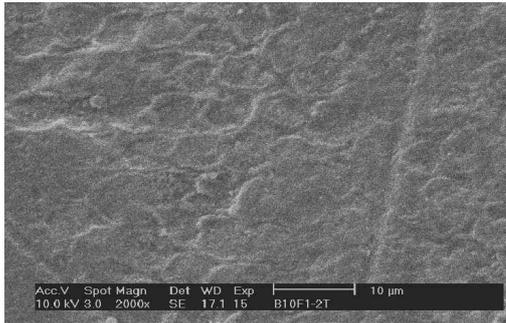


gebleicht

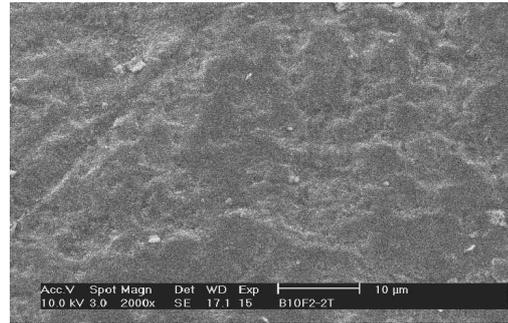


gebleicht & fluoridiert

Schmelzprobe 10



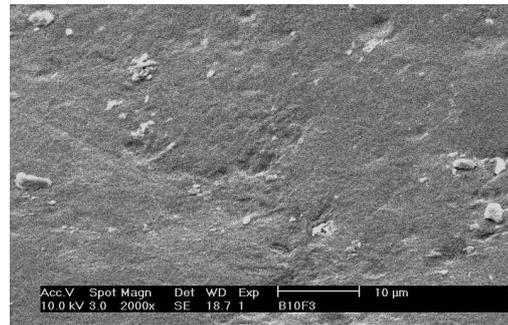
unbehandelt



fluoridiert



gebleicht



gebleicht & fluoridiert

6.3 Auswertung der Oberflächenmerkmale auf den Schmelzproben

In der folgenden Tabelle sind die Strukturmerkmale Schleifspuren, Detritus, Schmelzprismen und Schmelzrisse erfasst und deren Vorkommen auf den Feldern der Schmelzproben 1-10 ersichtlich. Das Symbol + kennzeichnet das Vorkommen des entsprechenden, in der Tabelle ablesbaren Oberflächenmerkmals. Das Symbol – kennzeichnet umgekehrt das Nicht-Vorkommen eines Oberflächenmerkmals.

	Schleifspuren	Detritus	Schmelzprismen	Schmelzrisse
1. Probe				
Feld 1	+	+	-	-
Feld 2	+	+	-	-
Feld 3	+	+	+	-
Feld 4	-	+	+	+
2. Probe				
Feld 1	+	+	-	-
Feld 2	+	+	-	-
Feld 3	+	+	-	-
Feld 4	+	+	-	+
3. Probe				
Feld 1	+	+	-	-
Feld 2	+	+	-	-
Feld 3	+	+	-	-
Feld 4	+	+	-	-
4. Probe				
Feld 1	+	+	-	-
Feld 2	+	+	-	-
Feld 3	+	+	-	-
Feld 4	+	+	-	-
5. Probe				
Feld 1	+	+	-	-
Feld 2	+	+	-	+
Feld 3	+	+	-	+
Feld 4	+	+	-	+
6. Probe				
Feld 1	+	+	-	+
Feld 2	+	+	-	-
Feld 3	+	+	-	-
Feld 4	+	+	-	-

	Schleifspuren	Detritus	Schmelzprismen	Schmelzrisse
7. Probe				
Feld 1	-	+	-	+
Feld 2	+	+	-	+
Feld 3	+	+	-	-
Feld 4	-	+	-	+
8. Probe				
Feld 1	-	+	-	-
Feld 2	-	+	-	-
Feld 3	-	+	-	-
Feld 4	+	+	-	-
9. Probe				
Feld 1	+	+	-	+
Feld 2	+	+	+	-
Feld 3	+	+	+	-
Feld 4	+	+	-	-
10. Probe				
Feld 1	+	+	+	-
Feld 2	+	+	+	-
Feld 3	-	+	-	-
Feld 4	+	+	-	-

6.4 Herstellernachweis

Arabesk® Flow Caps A2, Voco GmbH, 27457 Cuxhaven, Germany

Brutschrank, Memmert GmbH & Co. KG, 91126 Schwabach, Germany

elmex® fluid, GABA GmbH, 79515 Lörrach, Germany

Gebrauchsfertige Filtereinheit, Schleicher & Schuell Micro Science GmbH, 37586 Dassel, Germany

Große Probeneller mit Stift 1Zoll Ø, Plano GmbH, 35578 Wetzlar, Germany

Klint®-Reinigungspaste, Voco GmbH, 27457 Cuxhaven, Germany

Leit Tabs 25mmØ Leitfähige Haftaufkleber, Plano GmbH, 35578 Wetzlar, Germany

Mini-Appli-Tips rot, Pluradent AG & Co. KG, 63067 Offenbach, Germany

Miniature Cleaning and Polishing Brushes, Kerr Hawe, 84018 Scafati (SA), Italy

Papier-Spitzen Top color ISO 55, Coltène Whaledent GmbH & Co KG, 89129 Langenau, Germany

Pinselansätze schwarz, Pluradent AG & Co KG, 63067 Offenbach, Germany

President® Plus, Type 3, Coltène Whaledent GmbH & Co.KG, 9450 Altstätten, Switzerland

Scancoat Six / Pirani 501, BOC EDWARDS GmbH, 85551 Kirchheim, Germany

Scanning Electron Microscope, Philips Electronics N.V., 5600 JB Eindhoven, The Netherlands

Simply White®, Colgate-Palmolive, 22113 Hamburg, Germany

Sterilbank Lamin Air, Heraeus Holding GmbH, 63450 Hanau, Germany

VITA Toothguide 3D-MASTER®, VITA Zahnfabrik H. Rauter GmbH & Co. KG, 79704 Bad Säckingen, Germany

Wattekügelchen Größe 00, Coltène Whaledent, 89122 Langenau, Germany

Zellkultur Multiwellplatte mit Abdeckplatte- steril, Greiner Bio-One GmbH, 72636 Frickenhausen, Germany

7 Literaturverzeichnis

Ada Council on scientific affairs. Laser-assisted bleaching: An update. J Am Dent Assoc 1998; 129: 1484-1487

Anonymus. Trèswhite by Opalescence. Dentalfresh 2005; 2: 52

Argenta RM, Tabchoury CP, Cury JA. A modified pH-cycling model to evaluate fluoride effect on enamel demineralization. Pesqui Odontol Bras 2003; 17: 241-246

Ari H, Üngör M. In vitro comparison of different types of sodium perborate used for intracoronary bleaching of discoloured teeth. Int Endod J 2002; 35: 433-436

Araujo E, Baratieri L, Vieira L, Ritter A. In Situ Effect of 10% Carbamide Peroxide on Microhardness of Human Enamel: Function of Time. J Esthet Restor Dent 2003; 15: 166-174

Attin Th. Die Aufhellung verfärbter, avitaler Zähne mit der „Walking-bleach-Technik“. Dtsch Zahnärztl Z 2001; 56: 78-87

Attin Th, Burgmaier G-M et al. Neues zur Zahnaufhellung mit carbamidperoxidhaltigen Gelen. ZM 2001; 5: 32-37

Attin Th, Hickel R, Beiräte „Restaurative Zahnerhaltung“ und „Endodontologie“. Bleichen von verfärbten Zähnen Stellungnahme DGZMK. Dtsch Zahnärztl Z 2001; 2: 72-73

Attin Th, Paqué F, Hannig Ch. Aktuelles aus der Forschung zum Thema „Zahnaufhellung“. ZM 2002; 11: 48-51

Auschill TM, Hellwig E, Schmidale S, Hannig M, Arweiler NB. Effektivität verschiedener Bleichtechniken und deren Auswirkungen auf die Schmelzoberfläche. Schweiz Monatsschr Zahnmed 2002; 112: 894-900

- Berger A**, Gutknecht N, Lampert F. Laserunterstütztes Bleaching Fallbeispiele zur Aufhellung vitaler Zahnhartsubstanz im „Chairside-Verfahren“. *Laser Zahnheilkunde* 2004; 3: 175-184
- Bitter NC**. A scanning electron microscopy study of the effect of bleaching agents on enamel: a preliminary report. *J Prosthet Dent* 1992; 67: 852-855
- Bonness S**, Schroeder J, Braun A, Frentzen M. Das Bleichen von vitalen Zähnen – praktisches Vorgehen und Ergebnisse für das System Opalescence™. *Quintessenz* 2000; 51: 1025-1033
- Braun A**, Jepsen S, Krause F. Spectrophotometric and visual evaluation of vital tooth bleaching employing different carbamide peroxide concentrations. *Dental materials* 2007; 23: 165-169
- Ditzinger T**. Farbkompetenz in der Zahnfarbbestimmung. *ZM* 2004; 1: 34-35
- Dostalova T**, Jelinkova H, Housova D, Sulc J, Nemecek M, Miyagi M, Brugnera Junior A, Zanin F. Diode Laser-Activated Bleaching. *Braz Dent J* 2004; 15: 3-8
- Duschner H**. Zahnaufhellung mit Peroxiden. *ZM* 2002; 13: 42-51
- Efeoglu N**, Wood D, Efeoglu C. Microcomputerised tomography evaluation of 10% carbamide peroxide applied to enamel. *J Dent* 2005; 33: 561-567
- Faber F-J**. Die Bestimmung der Zahnfarbe Stellungnahme DGZMK. *Dtsch Zahnärztl Z* 2002; 8: 448-449
- Featherstone JD**, Glena 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
- Friese S**. Integration neuer Methoden der restaurativen Zahnheilkunde in den Praxisalltag. *Dtsch Zahnärztl Z* 2004; 4: 191-197

Garber DA. Dentist-monitored bleaching: A discussion of combination and laser bleaching. J Am Dent Assoc 1997; 128: 26S-30S

Gerlach RW, Zhou X. Vital Bleaching with Whitening Strips: Summary of Clinical Research on Effectiveness and Tolerability. J Contemp Dent Pract 2001; 3: 1-16

Geurtsen W, Günay H, Bleichen von Zähnen. In: Hupfauf L, Nolden R., Hrsg. Ästhetik in der Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde. München – Wien – Baltimore: Urban & Schwarzenberg, 1995: 143-154

Hannig Ch, Dorr-Tolui R, Attin Th. Peroxidnachweise im Speichel: Peroxidfreisetzung beim Homebleaching mit Whitestrips® und Vivastyle® in vivo. DZZ 2002; 11: D 11

Helfgen E-H, Zahnfarbe. In: Hupfauf L, Nolden R, Hrsg. Ästhetik in der Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde. München – Wien – Baltimore: Urban & Schwarzenberg, 1995: 29-43

Hellwig E, Klimek J, Attin Th, Spezielle endodontische und postendodontische Maßnahmen / Bleichen verfärbter wurzelkanalgefüllter Zähne. In: Hellwig E, Klimek J, Attin Th., Hrsg. Einführung in die Zahnerhaltung. München - Jena: Urban & Fischer, 2003: 334-336

Herkströter FM, Witjes M, Arends J. Demineralization of Human Dentine Compared with Enamel in a pH-Cycling Apparatus with a Constant Composition during De- and Remineralization Periods. Caries Res 1991; 25: 317-322

Hibst R. Laser: Aktueller Stand und neue Entwicklungen. ZM 2001; 10: 54-62

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

Joiner A, Thakker G. In vitro evaluation of a novel 6% hydrogen peroxide tooth whitening product. J Dent 2004; 32: 19-25

Junker-Malcharek A, Kroszewsky K. Farbbestimmung mit der Vitapan classical und Vitapan 3D-Master Farbskala im Vergleich. Dtsch Zahnärztl Z 2002; 9: 562-565

Karrer M. Das schöne Gesicht mit schönen Zähnen: Reiz und Grenzen der Gestaltung. Dtsch Zahnärztl Z 2004; 5: 248-256

Kielbassa AM, Zantner C. Zur Einordnung der Bleichtherapie im zahnärztlichen Behandlungsspektrum. Quintessenz 2001; 11: 1105-1116

Koch JH. Externes Bleichen – lieber sanft als hart. ZM 2003; 18: 42-43

Koeck B, Untersuchung und Befunderhebung. In: Hupfaut L, Hrsg. Festsitzender Zahnersatz. München – Wien – Baltimore: Urban & Schwarzenberg, 1993: 3-35

Kohlmeyer B, Scheller H. Zahnfarbenbestimmung mit dem PC-gestützten Messgerät „Digital Shade Guide“. Dtsch Zahnärztl Z 2002; 3: 172-175

Lagerweij MD, ten Cate JM. Acid susceptibility at various depths of pH-cycled enamel and dentine specimens. Caries Res 2006; 40: 33-37

Lips M. Blondierte Zähne. ZM 2004; 14: 32-35

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

Matis BA, Cochran MA, Eckert G, Carlson TJ. The efficacy and safety of a 10% carbamide peroxide bleaching gel. Quintessence Int 1998; 29: 555-563

Müller P. Frühkindliche Zahnverfärbungen aus pädiatrischer Sicht / Fallbeispiel: Grüne Zähne. ZM 2001; 11: 32-35

Nelson DGA, Jongebloed WL, Arends J. Morphology of Enamel Surfaces Treated with Topical Fluoride Agents: SEM Considerations. J Dent Res 1983; 62: 1201-1208

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

Peters S. Ansprüche des Patienten an sein häusliches Zähnebleichen. ZM 2005; 17: 34-38

Peters S. Die Patientenakzeptanz der Whitestrip-Behandlung. ZM 2002; 11: 52-54

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

Reyto R. Laser tooth whitening. Dent Clin North Am 1998; 42: 755-762

Rütgens J. Ultrastrukturelle Analyse der Schmelzoberfläche nach Einwirkung des Bleichmittels Voco Perfect Bleach. Dissertation, Bonn 2007

Schriever A. Das Bleichen endodontisch behandelter Zähne. In: Heidemann D, Hrsg. . Endodontie. München – Jena: Urban & Fischer, 2001: 230-239

Schroeder HE. Orale Strukturbiologie / Entwicklung und Struktur der Zahngewebe. In: Schroeder HE., Hrsg. Orale Strukturbiologie. Stuttgart: Georg Thieme Verlag, 2000: 171-172

Sissons CH, Cutress TW, Hoffman MP, Wakefield JS. A multi-station dental plaque microcosm (artificial mouth) for the study of plaque growth, metabolism, pH, and mineralization. J Dent Res 1991; 70: 1409-1416

Spalding M. Scanning Electron Microscopy Study of Dental Enamel Surface Exposed to 35% Hydrogen Peroxide: Alone, With Saliva, and With 10% Carbamide Peroxide. J Esthet Restor Dent 2003; 15: 154-165

Stappert CFJ. Die minimalinvasive Frontzahntherapie. ZM 2000; 11: 44-54

Sun G. The role of lasers in cosmetic dentistry. Dent Clin North Am 2000; 44: 831-850

Wiegand A. Bewertung neuer Applikationsmethoden in der externen Bleichtherapie. ZM 2006; 10: 44-50

Willershausen B, Azrak B, Kurth P, Gleissner C. Power-Bleaching kann den Schmelz schädigen. ZM 2007; 16: 36-40

Zalkind M, Arwaz JR, Goldman 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

Zantner C, Derdilopoulou F, Martus P, Kielbassa AM. Stabilität der Aufhellung nach Anwendung eines Bleich-Lackes zur Selbstapplikation. Dtsch Zahnärztl Z 2004; 12: D 18

8 Danksagung

Ich möchte mich bei Prof. Dr. med. dent. M. Frentzen, der die Entstehung dieser Dissertation angeregt und deren Durchführung begleitet hat, sehr herzlich bedanken.

Mein Dank gilt auch Frau Lange, die den experimentellen Teil der Arbeit unterstützt hat, sowie Frau Stachel, die eine große Hilfe bei der Literaturrecherche gewesen ist.

Ich danke auch all denen, die meine Arbeit mit Interesse und konstruktiver Kritik gefördert haben. Besonders möchte ich an dieser Stelle meine Eltern, meine Schwester, Urs Elke und Dr. rer. nat. Paul W. Elsinghorst erwähnen.