

**Ultrastrukturelle Analyse der Schmelzoberfläche  
nach Einwirkung des Bleichmittels  
Voco Perfect Bleach<sup>®</sup>**

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

Vorgelegt von Julia Rütgens  
aus Neuss

2007

Angefertigt mit Genehmigung der  
Medizinischen Fakultät der Universität Bonn

1. Gutachter: Prof. Dr. med. dent. M. Frentzen
2. Gutachter: PD Dr. med. dent. E.-H. Helfgen

Tag der Mündlichen Prüfung: 25.10.2007

Aus der Universitätsklinik und Poliklinik  
für Zahn-, Mund- und Kieferkrankheiten Bonn  
Poliklinik für Parodontologie, Zahnerhaltung  
und Präventive Zahnheilkunde  
Direktor: Prof. Dr. med. Dr. med. dent. Søren Jepsen, M.S.

Diese Dissertation ist auf dem Hochschulschriftenserver der ULB Bonn  
[http://hss.ulb.uni-bonn.de/diss\\_online](http://hss.ulb.uni-bonn.de/diss_online) elektronisch publiziert.

Meinen Eltern und Großeltern



---

## Inhaltsverzeichnis

<b>1. Einleitung .....</b>	<b>7</b>
1.1 Einführung in die Thematik .....	7
1.2 Die Zahnfarbe .....	9
1.3 Indikationen zur Korrektur der Zahnfarbe.....	15
1.4 Ursachen für Zahnverfärbungen .....	16
1.5 Wirkung der Bleichmittel .....	23
1.6 Nebenwirkungen des Zahnbleichens .....	29
1.7 Verschiedene Bleichtechniken .....	34
1.7.1 Internes Bleichen.....	34
1.7.2 Externes Bleichen .....	36
1.8 Applikationssysteme - externes Bleichen.....	40
1.8.1 Schienensysteme .....	40
1.8.2 Foliensysteme .....	42
1.8.3 Lokale Applikation .....	43
1.8.4 Licht-/Laser-assistierte Techniken.....	43
1.9 Klinische Vorgehensweise .....	48
1.9.1 Untersuchung und Befundung vor dem Bleichen .....	48
1.9.2 Voraussetzungen vor Beginn einer Bleichtherapie.....	49
1.9.3 Vorbereitende Maßnahmen vor Beginn einer Bleichtherapie .....	50
1.9.4 Nachbehandlung nach erfolgtem Zahnbleichen .....	51
1.10 Literaturübersicht zum Zahnbleichen .....	51
1.11 Fragestellung/Ziel der Studie .....	53
<b>2. Materialien und Methodik.....</b>	<b>54</b>
2.1 Voco Perfect Bleach® .....	54
2.2 Farbbestimmung – VITA Toothguide 3D-Master® .....	55
2.3 Versuchsplanung .....	62
2.3.1 Versuchsdesign.....	62
2.3.2 Auswahl und Vorbereitung der Schmelzproben .....	64
2.3.3 Vorbehandlung und Lagerungsmedium .....	66

---

2.3.4	Bleichvorgang.....	68
2.3.5	Fluoridierung .....	69
2.3.6	pH-Cycling.....	70
2.3.7	REM-Analyse .....	71
2.4	Statistische Auswertung.....	78
<b>3.</b>	<b>Ergebnisse .....</b>	<b>79</b>
3.1	Farbveränderung der Schmelzproben .....	79
3.2	Oberflächenmorphologie des Zahnschmelzes nach den Bleichmaßnahmen .....	90
<b>4.</b>	<b>Diskussion .....</b>	<b>94</b>
<b>5.</b>	<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>113</b>
<b>6.</b>	<b>Anhang .....</b>	<b>114</b>
6.1	Farbergebnis-Tabelle .....	114
6.2	REM-Bilder.....	119
6.3	REM-Bilder Ergebnis-Tabelle.....	125
6.4	Herstellernachweis.....	127
<b>7.</b>	<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>128</b>
<b>8.</b>	<b>Danksagung .....</b>	<b>139</b>

## **1. Einleitung**

### **1.1 Einführung in die Thematik**

Zähne aufhellen ist seit ein paar Jahren nicht nur ein beliebter Trend in den USA, sondern zunehmend auch in Deutschland. Weiße Zähne scheinen ebenso hierzulande Bestandteil des Schönheitsideals zu sein. Vor allem durch die Werbung, Medien und Hollywoodstars wird den Menschen auferlegt, was heutzutage Schönheit, Erfolg und Gesundheit bedeuten. Dazu zählt insbesondere ein strahlendes Lächeln mit weißen Zähnen, aneinandergereiht wie Perlen einer Kette. Dieses neue Statussymbol gehört zum steigenden Fitness- und Körperbewusstsein des modischen Menschen. Ein Lächeln wie das von Julia Roberts oder Tom Cruise ist zum Vorbild für viele Otto-Normal-Verbraucher geworden. 41 % der von Lips (2004) Befragten hätten gerne weißere Zähne. Eine 2001 durchgeführte klinische Studie zeigt, dass 80 % der Frauen und 60 % der Männer ihr äußeres Erscheinungsbild als wichtig erachten. Nur 14 % der Teilnehmer waren mit ihrer Zahnfarbe zufrieden (Peters, 2005). Eine Praxisstudie von Peters präsentiert, dass dieses Interesse vor allem mit zunehmendem Alter der Patienten (50 - 69 Jahre) wächst. Unabhängig von der Altersverteilung ist allgemein das Interesse der Frauen an einer Bleichbehandlung der Zähne größer (Peters, 2002).

Ein strahlend weißes Gebiss steht für Schönheit, Gesundheit, Jugend und Vitalität. Diese Bedeutung der weißen Zähne ist laut dem Evolutionspsychologen Buss evolutionär bedingt (Lips, 2004). Bei unseren Vorfahren galten bei der Partnersuche solche Kandidaten als jung, gesund und folglich fruchtbar, die helle Zähne hatten. Daher streben heutzutage immer mehr Menschen nach „schönen“ Zähnen, weil sie sich unter anderem dadurch mehr Erfolg sowohl in ihrer beruflichen Karriere als auch im privaten Leben erhoffen. Jedoch ist die tatsächliche Attraktivitätssteigerung allein durch eine Aufhellung der Zähne laut dem Psychologen Henss noch umstritten (Lips, 2004). In den USA reicht es inzwischen den modernen Menschen nicht mehr „nur“ weiße Zähne zu haben. Man hat nach einer Steigerung gesucht und die Wirtschaft hat sie gefunden: „California White“. Dabei drängen sich allerdings schnell der Vergleich zur Sanitärkeramik und die Frage nach Natürlichkeit auf (Hopp und Biffar, 2004). Ob die weißen Zähne überhaupt zu ihrem Hauttyp passen, hinterfragen die wenigsten

Patienten. Bei einem blassen Mitteleuropäer wirken schneeweiße Zähne häufig unnatürlich. Viele Menschen wissen nicht oder wollen nicht wahrhaben, dass ihre natürliche Zahnfarbe eher gelb-gräulich ist.

Dennoch, die Zahnfarbe zu verändern, ist nichts Neues. Jedoch ist nicht in allen Kulturen, Völkern und Ländern das Ziel, weiße Zähne sein Eigen zu nennen, erstrebenswert. In Südamerika, Malaysia und der Südsee z. B. entspricht es dem Schönheitsideal einiger Völker, sich die Zähne schwarz zu färben, was durch verschiedene Tinkturen und Kräuter realisiert wird. Die Azteken favorisierten sich ihre Zähne dunkelviolett und rot zu färben. Die Farbe hierfür stellten sie aus Cochenille-Läusen her. In Europa ist dagegen das Aufhellen der Zähne schon seit dem Mittelalter bekannt. Neben der Zahnextraktion war es zur damaligen Zeit die häufigste zahnmedizinische Behandlung. Anfangs wurden dazu Salpetersäure, Ende des 19. Jahrhunderts (1877) Oxalsäure und später dann Wasserstoffsuperoxid verwendet. Schon 1918 wurde Letzteres in den USA mit einer starken Lichtquelle kombiniert und der Beschleunigungseffekt zur Zahnaufhellung erkannt. Seit etwa 1920 ist infolgedessen das Bleichen vitaler Zähne mit Wasserstoffperoxid in den meisten Kliniken ein anerkanntes Verfahren (Lips, 2004).

Umfragen aus den USA belegen, dass 92 % der Patienten mit dem Ergebnis der externen Bleichtherapie zufrieden sind. 87 % würden diese Therapie erneut durchführen lassen und 97 % würden sie einem Freund weiterempfehlen (Attin et al., 2001). Dies erklärt auch, warum trotz der schlechten wirtschaftlichen Lage in Deutschland viele Patienten bereit sind, Zusatzleistungen, die keine Kassenleistungen sind, wozu auch das Zahnbleichen zählt, privat zu bezahlen. Eine Umfrage von 2003 ergab, dass über 30 % der Deutschen durchaus bereit sind, für das gute Aussehen ihrer Zähne auch mehr Geld zu bezahlen (Lips, 2004). Die Industrie hat diesen Trend erkannt und entsprechend reagiert. Inzwischen hat fast jeder Hersteller von Dentalprodukten mindestens ein Zahnaufhellungspräparat auf den Markt gebracht (Lips, 2004) und auch die Umsatzzahlen dieser Produkte wachsen stetig. Im Jahr 1995 lagen sie für externe Bleichmittel bei 1,67 Mio. DM, 1999 bereits bei 4,40 Mio. DM. Die Tendenz ist steigend (Attin et al., 2001). Die auf dem Markt erhältlichen verschiedenen Bleaching-Produkte unterscheiden sich nicht nur in ihrem Wirkstoff, meistens Carbamidperoxid oder Wasserstoffperoxid, sondern auch in dessen Konzentration, deren Anwendungsmöglich-



keit und –dauer. Allerdings verfolgen alle Produkte und Verfahren dasselbe Ziel: die Zähne des Patienten so stark aufzuhellen, wie der Patient es wünscht, ohne dabei den Zähnen und dem umgebenden Weichgewebe zu schaden.

## 1.2 Die Zahnfarbe

Bevor konkret auf die Zahnfarbe eingegangen wird, werden zunächst ein paar grundlegende Informationen über die Farbe im Allgemeinen erörtert.

Die Farbe ist weder eine unveränderliche Größe noch physikalisch eindeutig definierbar, sondern ein Sinneseindruck, der durch eine Lichtreflexion vom Objekt zum Auge ausgelöst und im Gehirn umgesetzt wird. Vom Komitee für Kolorimetrie wird daher die Farbe auch nicht als ein charakteristisches Merkmal eines Objektes definiert, sondern vielmehr als das Licht, welches vom Objekt in das menschliche Auge einstrahlt. Das bedeutet, dass die menschliche Farbempfindung subjektiver Natur ist. Aufgrund dieser Problematik der subjektiven Farbempfindung wurde schon seit dem 19. Jahrhundert versucht, durch entsprechende Modelle und Gesetzmäßigkeiten, das Farbensehen zu objektivieren. Eine wichtige Erkenntnis hierzu lieferte Newton bereits im Jahr 1666, indem er durch diverse Versuche belegte, dass alle Farben im Licht enthalten sind und nicht erst auf der Oberfläche eines bestrahlten Objektes entstehen (Helfgen, 1995).

Durch 3 Charaktermerkmale wird eine Farbe eindeutig definiert. Dies sind die Helligkeit (Value), die Intensität (Chroma) und der Farbton (Hue). Dabei können als qualitative Komponenten der Farbe sowohl der Farbton als auch die Intensität beschrieben werden. Die Helligkeit hingegen stellt eine quantitative Dimension dar. Sie ist abhängig von dem in ihr enthaltenen Schwarzanteil, wodurch auch die Reflexionsfähigkeit der Farbe bedingt wird. Der Farbton wird durch eine bestimmte Wellenform der Strahlungsenergie charakterisiert und steht für eine definierte Farbsorte (Rot, Grün, Blau, usw.). Die Reinheit oder Stärke eines Farbtones wird durch seine Intensität beschrieben (Helfgen, 1995).

Diesen Zusammenhang hat Munsell 1936 erstmals in einem grafischen System vorgestellt. Das gesamte Farbspektrum lässt sich anschaulich in einem dreidimensionalen Farbraum, einer Kugel, darstellen (Abb. 1). Dabei liegen die Farben einer gleichen

---

Helligkeitsstufe in einer Ebene. Der tiefste Punkt der Kugel ist der dunkelste (der Schwarzpunkt), der höchste Punkt der Kugel ist der hellste (der Weißpunkt). Die Helligkeit einer Farbe bezieht sich somit auf ihren Grauanteil. Je geringer der Wert, desto näher liegt die Farbe an der Schwarz-Weiß-Achse zum weißen Ende, d. h. umso heller ist die Farbe und umgekehrt. In der Folge ist die Helligkeit unabhängig von der Farbintensität. Nimmt man eine horizontale „Scheibe“ aus der Kugel heraus, so entspricht sie einer Helligkeitsstufe; jedoch lassen sich auf ihr verschiedene Farbintensitäten und Farbtöne treffen. Im Zentrum der Scheibe ist die Farbintensität gleich null, also sehr blass und das entspricht einer Graustufe. Je weiter man nach außen zur Oberfläche der Kugel bzw. Scheibe kommt, desto intensiver oder satter wird der Farbton. Somit charakterisiert die Intensität die Menge eines in einer Farbe vorhandenen Farbtons. Der Farbton hängt wiederum von der Position des Kugelsegmentes auf Höhe des „Äquators“ ab. Die Farbtöne Rot, Grün, Gelb und Blau dienen zur Grundfarbbestimmung und liegen auf dem Äquator der Farbraumkugel radiär verteilt. Diese Farbraumkugel stellt nun alle Farben durch einen bestimmten Punkt exakt definierbar dar (Vollmann, 1998). Die einzelnen Dimensionen, die die Farbe bestimmen, sind zudem separat dargestellt (Abb.1).

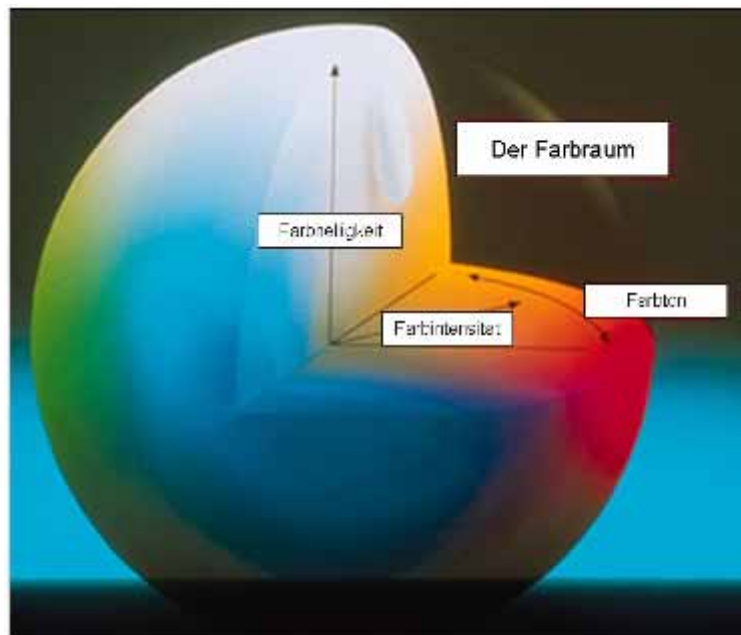


Abb. 1: Der Farbraum als eine Kugel: Auf der Längsachse ist die Farbheit gezeigt, die vom unteren dunklen Pol zum oberen hellen ansteigt. Der Pfeil, der zur Oberfläche der Kugel führt, zeigt, dass die Farbintensität in diese Richtung immer satter wird. Radiär um die Äquatorebene verteilt, sind die verschiedenen Farbtöne (modifiziert nach Ross, 2002).

Anschaulicher wird der dreidimensionale Zusammenhang der Dimensionen Farbton, Intensität und Helligkeit durch einen zylindrischen Aufbau dargestellt (Abb. 2). Sproull hat dies 1973 erstmals in einem Zylinder vorgestellt, der aus einer Vielzahl aufeinander gestapelter Wagenräder besteht. Dabei ist der Farbton radiär um die Felgen angeordnet. Die Sättigung oder Intensität nimmt entlang der Speichen zu und die Helligkeit verändert sich entlang der Achse. Diese ist in 9 Helligkeitsstufen gegliedert. Über verschiedene Grautöne wandert sie vom unteren Teil, wo sie vollständig schwarz ist (Helligkeitsstufe 1), bis hin zur höchsten weißen Stufe (Helligkeitsstufe 9) (Helfgen, 1995). Als Ausschnitt aus dem gesamten Farbzylinder sind beispielhaft ein solches „Wagenrad“ mit seinen Speichen und die Achse mit den 9 Helligkeitseinteilungen in Abb. 2 gezeigt.

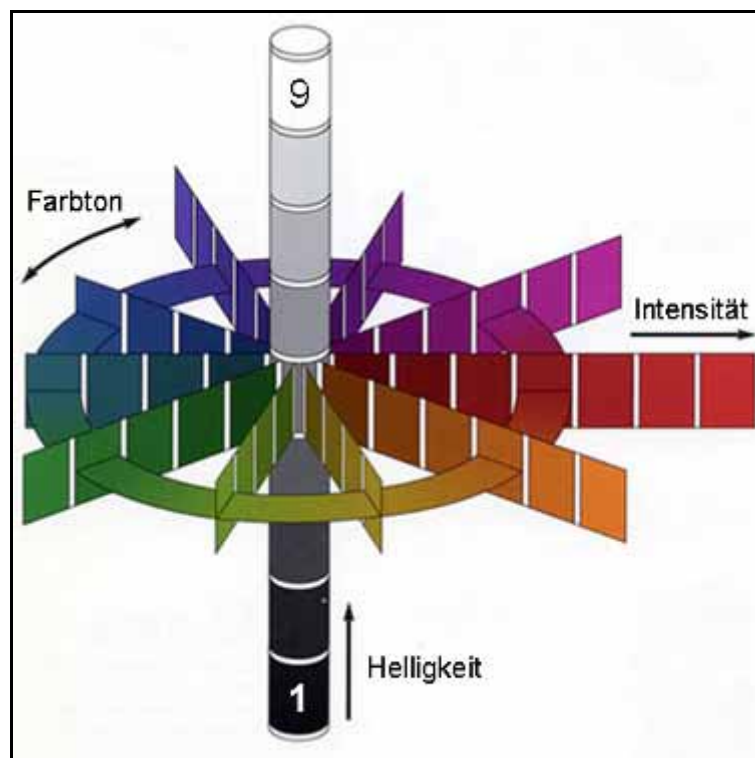


Abb.2: Ausschnitt aus dem Farbzyylinder nach Sproull, der das Munsell-System beschreibt: Die 3 Farbparameter sind übersichtlich gezeigt. Die gesamte Helligkeitsachse von schwarz nach weiß ist abgebildet. Zudem ist ein „Wagenrad“ einer Helligkeitsebene dargestellt. Der Farbton variiert abhängig von seiner Position um die Felgen. Die Intensität nimmt entlang der Speichen zu (modifiziert nach <http://users.design.ucla.edu>).

Bei der Beschreibung der natürlichen Zahnfarben muss beachtet werden, dass nur das Licht vom menschlichen Auge als Farbreiz wahrgenommen wird, das von dem Zahn reflektiert und nicht absorbiert oder transmittiert wird. Zum Letzteren zählt der Blau-Grün-Anteil des weißen Lichtes. Somit liegt das Spektrum der natürlichen Zähne im rot-gelben Bereich. Dieser Zahnfarbraum innerhalb der Farbkugel hat eine bananenförmige Ausdehnung. Der Farbtonbereich ist in Richtung der gelb-orangen Achse orientiert. Die Helligkeit ist im oberen Drittel der Kugel einzustufen. Die Intensität der Zahnfarben ist in diesem Bereich eher schwach, womit sich der Zahnfarbraum in der Nähe zur „Unbuntachse“ befindet (Vollmann, 1998). Spektrofotometrische Messungen haben ergeben, dass der Zahnfarbraum nur 4,5 % aller möglichen Farben des Munsell-Systems einnimmt. Auf der Helligkeitsachse befindet sich der Zahnfarbraum innerhalb der Stufen 6

bis 8 (Helfgen, 1995). Dies bestätigt, dass der Farbraum der Zähne sehr klein ist und sich nur auf unbunte Rot- und Gelbtöne bezieht (Ditzinger, 2004). Abb. 3 hebt den Ausschnitt des Zahnfarbraums, in dem sich die natürlichen Zahnfarben wieder finden, aus der gesamten Farbraumkugel hervor. In dieser Darstellung wird deutlich gezeigt, dass der Zahnfarbraum nicht den „Nordpol“ der Kugel, der reines Weiß darstellt, miterfasst. Hiermit wird das Wunschdenken vieler Menschen, die natürliche Zahnfarbe sei Weiß, widerlegt.

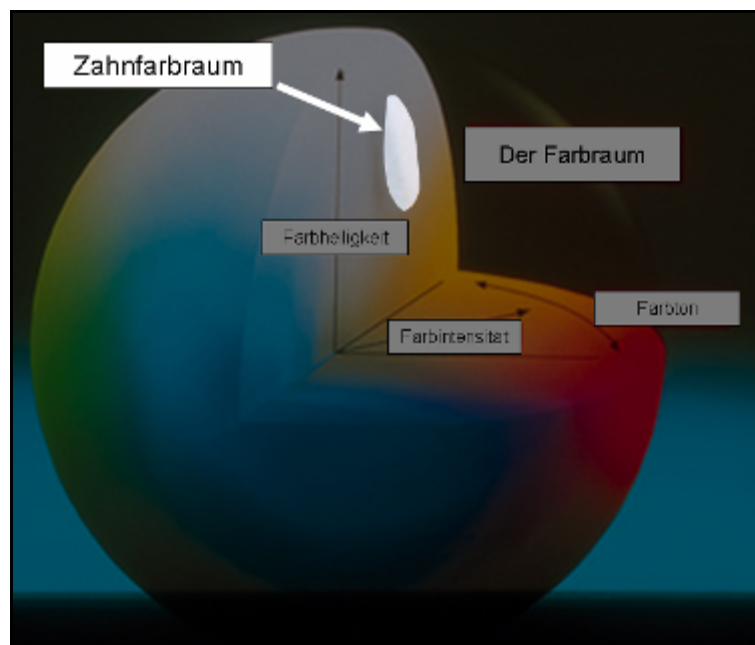


Abb. 3: Die Lokalisation des Zahnfarbraumes der natürlichen Zahnfarben in der Farbraumkugel ist nahe der „Unbuntachse“: Der Farbton ist neben der Gelb-Orange-Achse gelegen und die Helligkeit der natürlichen Zahnfarben findet sich im oberen Drittel der Farbkugel wieder (modifiziert nach Ross, 2002).

Etwas genauer sollte an dieser Stelle noch auf die natürlichen Zahnfarben und deren verschiedenen Nuancen innerhalb des Zahnbogens eingegangen werden. Im Vergleich zum mittleren Schneidezahn ist der seitliche im Oberkiefer in der Regel etwas dunkler. Zudem ist auch eine teilweise bläuliche Tönung desselben zu beobachten. Die Eckzähne sind sowohl im Vergleich zu den Schneidezähnen als auch im Vergleich zu den Prämolaren deutlich dunkler. Typisch ist ihre gelbe Farbnuance. Im Unterkiefer hingegen wird von den meisten Autoren eine vom mittleren Schneidezahn ausgehende,

kontinuierlich und gleichmäßig nach distal zunehmende Verdunklung der Zahnfarbe festgestellt.

Ein weiterer Aspekt, der die Zahnfarbe eines einzelnen Zahnes beeinflusst, ist seine Zusammensetzung. Der Teil des Zahnes, der in der Mundhöhle sichtbar ist, besteht in der Regel aus Schmelz und Dentin. Folglich sind diese beiden Massen für das Erscheinungsbild des Zahnes ausschlaggebend. Der Zahnschmelz besteht zu 95 % aus mineralischen Massen. Seine Lichtdurchlässigkeit durch ein 1 mm dickes Schmelzstück beträgt immerhin 70 %. Dies ist durch den kristallinen geschichteten Aufbau der Hydroxylapatitprismen bedingt. Zudem sind die Reflexionsprozesse, die auf der Oberfläche des Zahnschmelzes entstehen, nicht unbedeutend. Die Perikymatien im Sinne von endenden Prismenschichten bilden um die gesamte Krone verteilt kleine glänzende Lamellen, die das auftreffende Licht in verschiedene Richtungen streuen. Vor allem inzisal, aber auch approximal, ist die Zahnkrone besonders hell. In diesen Bereichen besteht sie ausschließlich aus Schmelz und ist nicht von Dentin unterlegt. Daher wird dem Zahnschmelz von den 3 farbbestimmenden Dimensionen in der Regel die Helligkeit zugeordnet. Das Dentin hingegen besteht lediglich aus 70 % mineralischen Anteils und seine Lichtdurchlässigkeit durch ein 1 mm dickes Dentinstück beträgt nur noch 30 %. Das Dentin wirkt daher häufig opak. Diese geringe Transluzenz bedingt die Verstärkung der gelben und orange-roten Oberflächenreflexionen. Infolgedessen sind in der Regel die Intensität der Zahnfarbe und auch der Farbton von der Zusammensetzung des Dentins abhängig.

Kennt man den Aufbau des Zahnes, so lässt sich die normale, polychrome Farbverteilung innerhalb einer Zahnkrone leichter verstehen. Aufgrund der nur dünnen Schmelzschicht im zentralen Kronendrittel, durch die das Dentin stärker durchscheinen kann, wirkt der Zahn in diesem Bereich deutlich dunkler als approximal oder inzisal. Am dunkelsten jedoch ist der Zahn im Bereich des Zahnhalses, da es in dieser Gegend überhaupt keinen Schmelzüberzug gibt. Die Farbe des Dentins kann dort am besten bestimmt werden (Helfgen, 1995). Durch diese verschiedenen Variationen erscheint das Gebiss natürlich und lebendig.

### 1.3 Indikationen zur Korrektur der Zahnfarbe

Heutzutage lassen sich die meisten Patienten aus kosmetischen Gründen ihre Zähne aufhellen. Es muss aber erwähnt werden, wie auch aus einer Stellungnahme der Deutschen Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde (DGZMK) zu entnehmen ist (Attin und Hickel, 2000), dass es auch medizinische Gründe für diese Therapie gibt. Um ein ästhetisch schöneres Aussehen der Zähne zu bekommen, wurde konventionellerweise die invasive Präparation zur Kronen- oder Veneerherstellung notwendig. Durch eine Bleichtherapie kann abhängig von der Art und dem Grad der Verfärbung ein invasives Vorgehen gegebenenfalls vermieden werden. Auch eine starke psychische Belastung, unter der ein Patient bei extremer Zahnverfärbung leidet, kann durch das Zähnebleichen vermieden oder reduziert werden.

Die Indikation zur Korrektur der Zahnfarbe ist immer dann gegeben, wenn die Zahnfarbe einzelner Zähne oder auch Zahngruppen durch entwicklungsbedingte bzw. krankheitsbedingte Ursachen von den gesunden Zähnen abweicht. Dies kann traumatisch, alters- oder iatrogen bedingt sein. Konkret wird auf die Ursachen für Zahnverfärbungen im nächsten Kapitel eingegangen. Auch bei endodontisch behandelten Zähnen, die definitiv mit Vollkeramik versorgt werden sollen, kann eine Vorbehandlung im Sinne einer Bleichtherapie indiziert sein. Das bedeutet, dass grundsätzlich intrinsische Verfärbungen durch Bleichmaßnahmen behandelt werden können. Extrinsische Verfärbungen sollten zunächst durch Prophylaxemaßnahmen mit Hilfe von Polierpasten oder Pulverstrahlgeräten versucht werden zu beseitigen (Zantner und Kielbassa, 2004). Abhängig von der Vitalität der Zähne stellt sich entweder die Indikation für externes und/oder internes Bleichen.

An dieser Stelle muss jedoch erklärt werden, dass es sich bei der Aufhellung von Zähnen nicht um eine rein kosmetische Anwendung handelt. Die Bleichmittel wirken nicht nur äußerlich, sondern sind ein „invasives Produkt“, da sie per definitionem in der Medizinprodukterichtlinie 93/42 „durch die Körperoberfläche oder durch eine Körperöffnung ganz oder teilweise in den Körper eindringen“ (Kielbassa und Zantner, 2001). Hätte das Verwaltungsgericht Düsseldorf am 30.08.2000 entschieden, dass die Zahnaufhellungsmittel zu den Kosmetika zählen, dürfte laut deutscher Kosmetikverordnung ihre maximale Wasserstoffperoxidkonzentration nicht mehr als 0,1 %

betragen. Damit würde das Mittel aufgrund der zu geringen Konzentration als Aufhellungsprodukt unwirksam sein. Lediglich eine desinfizierende Wirkung könnte ihm in diesem Fall zugeschrieben werden. Infolgedessen sind nur solche Aufhellungsprodukte zugelassen, die dem Medizinproduktegesetz der Klasse IIa entsprechen. Diese sind mit einem CE-Gütesiegel versehen (Attin et al., 2001). Durch diese Zuordnung der Zahnaufhellungspräparate wird deutlich gezeigt, dass die Indikation zum Zähnebleichen durch einen Zahnarzt gegeben und der Verlauf der Behandlung durch ihn kontrolliert werden sollte. Von einer Selbstanwendung freiverkäuflicher Bleichmittel, die ohne zahnärztliche Betreuung angewendet werden, muss strikt abgeraten werden (Wiegand und Attin, 2002). Ebenso sollte von in Schönheitssalons, Fitnesscentern und anderen Instituten durchgeführten Zahnaufhellungsmaßnahmen, die ohne ärztliche Kontrolle angeboten werden, Abstand genommen werden (Attin et al., 2001). Entweder werden dort Produkte verwendet, deren Konzentration so gering ist, dass das Bleichergebnis nicht annähernd zufrieden stellend sein kann. Oder es werden illegal hochprozentige Produkte verwendet, die eigentlich nur über den Zahnarzt bezogen werden dürften und deren Anwendung auch unter seiner Aufsicht stattfinden müsste. Die Möglichkeit des Auftretens unerwünschter Nebenwirkungen ist somit bei unprofessionellem Gebrauch der Bleichprodukte deutlich erhöht.

#### **1.4 Ursachen für Zahnverfärbungen**

Unter externen Zahnverfärbungen versteht man durch exogene Farbstoffe verursachte Verfärbungen, die nicht in den Zahnschmelz direkt eindringen, sondern nur in die der Zahnhartsubstanz aufliegenden organischen Strukturen, wie z. B. Pellikel, Plaque oder Zahnstein. Entsprechende chemische Anziehungskräfte (elektrostatische Kräfte, van-der-Waals-Kräfte, Wasserstoffbrücken) ermöglichen die Anlagerung der Chromogene an die Zahnoberfläche. Diese Farbstoffe befinden sich vor allem in Lebens- und Genussmitteln (Kaffee, Tee, Tabak, Wein, Curry) sowie in Medikamenten (eisen- oder nitrathaltige Präparate, Chlorhexidin). Chromogene Bakterien führen ebenfalls zu solchen extrinsischen Verfärbungen. Diese sind insbesondere bei Kindern im Bereich des Gingivalsaums zu finden. Da Kinder die zuvor erwähnten Lebens- und Genussmittel



in der Regel nicht verzehren, dennoch aber bei ihnen extrinsische Zahnverfärbungen zu beobachten sind, können diese auf den Genuss von Fruchtsäften zurückgeführt werden. Darüber hinaus können auch verschiedene Metalle bzw. deren Salze eine Verfärbung der Zahnauflagerungen verursachen. Auch Korrosionsprodukte von Amalgamfüllungen können sich in den Zahnauflagerungen ablagern und zu Verfärbungen führen. Diese Metalle können aus entsprechender beruflicher Exposition des Patienten stammen, jedoch auch durch Medikamenteneinnahme bedingt sein. Tabelle 1 stellt eine Übersicht über die potenziellen Quellen von Metallen bzw. deren Salzen und den daraus möglicherweise resultierenden Zahnverfärbungen dar (Kielbassa und Wrbas, 2000).

<b>Metall(salz)</b>	<b>Quelle</b>	<b>Farbe der Zahnverfärbung</b>
Cadmium (Cd)	beruflich	gelblich bis gold
Eisen (Fe)	Medikamente (Blutkrankheit)	(grau)schwarz
Kalium (K)	Desinfektion (K-permanganat)	violett bis schwarz
Kupfer (Cu)	beruflich, Spüllösung	grün
Nickel (Ni)	beruflich	grün
Silber (Ag)	Desinfektionslösung	graubraun, grauschwarz
Zinn (Sn)	Spüllösung, Zahnpasta (Zinnfluorid)	goldbraun

Tabelle 1: Übersicht über mögliche Quellen der Metalle bzw. der Metallsalze und die daraus bedingten potenziellen Zahnverfärbungen (nach Kielbassa und Wrbas, 2000).

Nathoo (1997) hat die extrinsischen Zahnverfärbungen in die 3 nachfolgend aufgelisteten Klassen eingeteilt, die die chemische Grundlage der Verfärbung berücksichtigen sollen.

- N1-Typ: Das gefärbte Material (Chromogen) reagiert mit der Zahnhartsubstanzoberfläche, wobei die zu beobachtende Verfärbung des Zahnes der Farbe des Chromogens entspricht; z. B. das Speicheloberhäutchen, das die Grundlage für alle weiteren Verfärbungen bildet, sowie die oben genannten Kaffee-, Tee- und Weinverfärbungen.

- N2-Typ: Pigmente bzw. Substanzen, die nach der Einlagerung in das Schmelzoberhäutchen ihre Farbe verändern; z. B. ursprünglich gelbe Verfärbungen, die sich durch chemische Veränderungen der Proteine durch Säuren braun verfärben. Dies kann ebenfalls bei kaffee- oder teebedingten Verfärbungen der Fall sein.
- N3-Typ: Primär farblose Substanzen, die an die Zahnoberfläche binden und durch eine nachfolgende strukturelle Transformation (Umsetzung von Aminosäuren mit reduzierenden Zuckern) zu braunen pigmentartigen Substanzen werden (nicht-enzymatische Bräunungsreaktion) und dadurch eine Farbveränderung herbeiführen, wie z. B. auch bei angeschnittenen Äpfeln oder Kartoffeln. Zu dieser Gruppe zählen auch durch Zinnfluorid bedingte Verfärbungen.

Auf andere Weise lassen sich diese externen Verfärbungen auch nach organischen und anorganischen Auflagerungen einteilen und unterscheiden, wie Tabelle 2 zeigt:

<b>Organische Auflagerungen</b>	<b>Anorganische Auflagerungen</b>
Färbende Nahrungs- und Genussmittel: Tee, Kaffee, Rotwein, Blaubeeren, etc.	Eisen-Verbindungen (gelb bis braun)
Teerprodukte vom Rauchen	Silber-Verbindungen aus Medikamenten (grau bis schwarz)
Bakterielle Abbauprodukte	Mangan-Verbindungen (grün bis schwarz)
Abbauprodukte körpereigener Substanzen bei inneren Erkrankungen (Porphyrinabbaustufen, Bilirubin etc.)	Kupfer-Verbindungen (grün bis blau)
	Schwermetallverbindungen wie Quecksilber und Blei (grau bis schwarz)
	Schwefelverbindungen (schwarz)

Tabelle 2: Übersicht über externe Verfärbungen, aufgeteilt nach organischen bzw. anorganischen Auflagerungen (aus: Hopp und Biffar, 2004).

Diese externen Verfärbungen lassen sich durch Prophylaxemaßnahmen mehr oder weniger gut mit Hilfe von Polierpasten oder Pulverstrahlgeräten entfernen.

Durch Demineralisation bedingt ist die Zahnhartsubstanz bei kariösen Läsionen verstärkt porös. In diese Struktur können sich vereinfacht externe Farbstoffe einlagern, die Verfärbungen verursachen (Kielbassa und Wrbas, 2000). Solche Verfärbungen können allerdings nicht durch Prophylaxemaßnahmen und auch nicht durch Bleichmaßnahmen beseitigt werden, sondern nur durch eine entsprechende Kariestherapie.

Unter internen Zahnverfärbungen versteht man solche, bei denen verfärbend wirkende Substanzen (Blutfarbstoffe, Tetracykline) den Zahn durchdringen bzw. während der Zahnentwicklung in die Zahnhartsubstanzen, das Dentin und/oder den Schmelz, eingebaut werden. Diese Farbveränderungen gehen häufig auch mit Strukturanomalien der Zähne einher (Attin und Hickel, 2000). Das heißt, dass die intrinsischen Zahnverfärbungen durch chromogenes Material innerhalb des Dentins bzw. des Schmelzes verursacht werden. Des Weiteren können die intrinsischen Verfärbungen in Abhängigkeit von ihrer Genese in 2 Gruppen unterschieden werden: die präeruptiv sowie die posteruptiv entstandenen Zahnverfärbungen (Kielbassa, Wrbas, 2000).

Zunächst sollen einige typische Beispiele für präeruptive Zahnverfärbungen dargestellt werden. Die häufigsten Ursachen für solche Zahnverfärbungen sind periapikale Entzündungen oder Traumata von Milchzähnen (Turner-Zahn) sowie einige Allgemein-erkrankungen des blutbildenden Systems, Mangelernährung (Vitamine, Kalzium, Phosphat), überhöhte Fluoridzufuhr (Fluorose) und genetische Faktoren (Amelogenesis imperfecta) (Attin und Hickel, 2000).

Die relativ bekannten Dentalfluorosen entstehen durch Einnahme zu hoher Mengen an Fluoriden während der Zahnentwicklung, d. h. bis etwa zum 8. Lebensjahr. Durch kombinierte systemische (Trinkwasser, Salz, Tabletten) und lokale (Zahnpasta, Lacke, Gele) Fluoridapplikation kann die chronisch toxische Grenze erreicht oder überschritten werden. Diese ist altersabhängig und liegt für Kinder zwischen 0,3 und 1 mg pro Tag (Gülzow et al., 2002). Die temporär erhöhte Fluoridkonzentration hemmt die Ameloblastenfunktion, wodurch lokale oder auch generalisierte Hypomineralisationen des Zahnschmelzes resultieren können (Kielbassa und Wrbas, 2000). Intraoral findet man dann auf den Vestibularflächen der Zähne opake weiße Linien, die den Verlauf der

Perikymatien hervorheben. Daraus können sich Schmelzflecken, Entkalkungen und auch Schmelzverluste entwickeln (Benz et al., 2000). Lagern sich Farbpigmente in den porösen Zahnschmelz ein, kann sich eine leichte Fluorose auch durch bräunliche Flecken äußern (Kielbassa und Wrbas, 2000). Weiße Flecken auf dem Zahnschmelz können außerdem durch traumatische Reifungsstörungen in der Odontogenese bedingt sein (Koeck, 1993).

Wie bereits erwähnt wurde, kann eine Tetrazyklin-Gabe bei Schwangeren oder Kindern bis zum 10. Lebensjahr, das heißt während der Zeit, in der sich die Zähne entwickeln, durch Einlagerung von Tetrazyklinen in die Zahnkronen, bei den Kindern im Milch- und bleibenden Gebiss, zu gelbbraunen bis schwarzen Verfärbungen führen (Benz et al., 2000). Dies ist durch die besonders hohe Affinität des Tetrazyklinmoleküls zu den Kalzium-Ionen des Hydroxylapatits bedingt (Kielbassa und Wrbas, 2000). Daher stellen vor allem die Medikamente, die eine hohe Affinität zu den hartgewebsbildenden Strukturen besitzen, ein besonderes Problem dar (Bonness et al., 2000).

Diverse angeborene Defekte können auch zu Verfärbungen der Zähne führen. Dazu zählt die Amelogenesis imperfecta, eine hereditäre Erkrankung der Zahnhartsubstanz, die häufig an mehreren Zähnen vorkommt, oft auch bilateral symmetrisch. Kennzeichnend sind gelb-braune Verfärbungen der Zahnkronen, die in vielen Fällen mit konischen Zahnformen kombiniert sind (Koeck, 1993). Zähne mit Dentinogenesis imperfecta verfärben sich meistens rötlich-braun oder grau, bedingt durch die typischen ausgeprägten Obliterationen bei diesem Krankheitsbild (Kielbassa und Wrbas, 2000).

Kongenitale Gallengangsdefekte bzw. Krankheiten des Blutsystems, bei denen unreife, kernhaltige rote Blutkörperchen im Blut vorhanden sind, wie z. B. bei der fetalen Erythroblastose, verursachen ein grünliches Erscheinungsbild der Zahnkronen. Rötlich-bräunlich schimmern die Zähne von Patienten, die an der kongenitalen erythropoetischen Porphyrrie erkrankt sind. Dies ist bedingt durch eine übermäßige Porphyrinproduktion während die Erythroblastenfunktion gestört ist (Bonness et al., 2000). Auch durch die Thalassämie oder Sichelzell-Anämie kann es zu grünlich-blauen bis grauen Veränderungen der Zahnfarbe kommen (Kielbassa und Wrbas, 2000). Wird während der Geburt aufgrund der Unverträglichkeiten der Rhesus-Faktoren von Mutter und Kind Biliverdin ausgeschwemmt, kann es im Rahmen des Morbus haemolyticus neonatorum zur Grün-, Gelb- oder Graufärbung der Zähne des Kindes kommen (Bonnes et al.,

2000). Präeruptive Farbstoffeinlagerungen in die Zahnhartsubstanz können außerdem durch neonatale Hepatitiden entstehen, was sich durch gelb-braune Verfärbungen äußert (Kielbassa und Wrbas, 2000).

Post-eruptive dunkle gelb-braune Verfärbungen der Zähne können durch eine Nekrose der Pulpa bedingt sein (Koeck, 1993). Dadurch, dass sich der Blutfarbstoff, das Häm, durch Blutungen in der Pulpa in den Dentinkanälchen einlagert, kann es auch nach einer Vitalexstirpation oder durch zurückgelassene Pulparesten zu braun-grauen Verfärbungen der Zahnhartsubstanz kommen. Dies ist zumeist auch mit einem Transparenzverlust der Zahnkrone verbunden (Benz et al., 2000). Aufgrund des in die Dentinkanälchen eindringenden Blutes, führen intrapulpare Blutungen allerdings zunächst zu einem rosafarbenen Erscheinungsbild des Zahnes (Attin und Hickel, 2000).

Auch interne Granulome können rosa Flecken auf der Zahnhartsubstanz verursachen (Koeck, 1993). Durch den Abbau der Erythrozyten wird Hämoglobin und anschließend Eisen freigesetzt. Da das Eisen mit dem von den Bakterien gebildeten Schwefelwasserstoff zu schwarzem Eisensulfid reagiert, kommt es zur Braun- oder Grauschwarzfärbung des Zahnes. Aber auch Abbauprodukte von Proteinen einer nekrotischen Pulpa können Eisenverbindungen freisetzen, die zu einer Zahnverfärbung führen. Auch können Wurzelkanalfüllmaterialien interne Zahnverfärbungen bedingen (Attin und Hickel, 2000).

In der organischen Matrix des Schmelzes bzw. Dentins lagern sich mit zunehmendem Alter funktionslose Chromogene ab. Dies führt zu einer allgemeinen Verdunklung aller Zähne (Nathoo, 1997). Zudem ist die einheitliche dunklere Tönung aller Zahnkronen durch eine generalisierte altersbedingt vermehrte Sekundärdentinbildung bedingt (Koeck, 1993; Kielbassa und Wrbas, 2000). Als Folge kleinerer Traumata kann es lokal zu einer gesteigerten Dentinbildung kommen, was zu einem dunkleren Erscheinungsbild der Zähne führt (Kielbassa und Wrbas, 2000). Ein weiterer Aspekt für das Dunklerwerden der Zähne im Alter ist die durch natürliche Abnutzung bedingte Reduzierung der Schmelzschicht. Demzufolge verändert sich das Verhältnis vom Schmelz zum Dentin zu Gunsten des Letzteren. Das dunklere Dentin dominiert und verursacht daher die dunklere Zahnfarbe (Bonness et al., 2000). Außerdem können im Bereich des abradierten Zahnschmelzes orange-bräunliche Farbstoffe leichter in den freiliegenden Dentinkernen eindringen und hierdurch die dunklere Zahnfarbe verstärken.

Somit sind 3 Faktoren für die Zunahme des Dentins und damit die Verdunklung der Zahnfarbe im Alter verantwortlich: die Verengung der Dentinkanälchen, wodurch die Strahlendurchlässigkeit noch mehr reduziert wird, die vermehrte Bildung von Sekundärdentin sowie die vereinfachte Farbstoffaufnahme (Helfgen, 1995). Des Weiteren können diese Farbveränderungen der Zähne dadurch begründet werden, dass die ungesättigten Doppelbindungen der Farbstoffe das Licht absorbieren und nicht reflektieren (Duschner, 2002).

Auch Silberamalgamfüllungen oder früher verwendete silberhaltige Wurzelkanalstifte bedingen häufig einen grau-schwarzen Schimmer des Zahnschmelzes (Benz et al., 2000). Besonders häufig kam es zu einer Oxidation von Amalgambestandteilen und einer dadurch bedingten Verfärbung des Zahnes bei den früher verwendeten Kupferamalgamen (Bose und Ott, 1994). In Tabelle 3 sind iatrogene Ursachen sowohl für post- als auch für präeruptiv bedingte Zahnverfärbungen zusammengestellt.

<b>Material/Substanz</b>	<b>Farbe</b>
Amalgam	grau-schwarz
flüchtige Öle	gelblich-braun
Jod	gelblich-braun
Schwefelhaltige Medikamente	schwarz
Silbernitrat	schwarz-braun
Tetrazyklin	braun-grau
Unvollständige Trepanation	grau-schwarz
Wurzelkanalfüllmaterialien	schwarz (Silberstift)

Tabelle 3: Übersicht iatrogener Ursachen, die sowohl zu post- als auch zu präeruptiv entstandenen Zahnverfärbungen führen können (nach Kielbassa und Wrbas, 2000).

## 1.5 Wirkung der Bleichmittel

Der heutzutage gebräuchlichste Wirkstoff zum externen Bleichen (s. Kapitel 1.7) ist Carbamidperoxid. Dass Carbamidperoxid zahnaufhellend wirkt, wurde 1968 zufällig durch den Zahnarzt Bill Klusmier entdeckt. Bis zu diesem Zeitpunkt wurde Carbamidperoxid vor allem in Amerika als orales Antiseptikum verwendet. Daher empfahl dieser Zahnarzt seinen Patienten, die während des Tragens eines kieferorthopädischen Positioners unter chronischen Gingivaentzündungen litten, Carbamidperoxid in die Schiene zu füllen. Das Ergebnis dieser Therapie war nicht nur eine verbesserte gingivale Situation, sondern auch aufgehellte Zähne. Seitdem finden Carbamidperoxidgele bei Bleichtherapien Anwendung und ihre Effektivität wurde in etlichen Studien nachgewiesen (Attin, 1998).

Das Bleichmittel wird äußerlich auf die Zahnschmelzoberfläche appliziert. Durch Kontakt mit der Zahnhartsubstanz, Ionen, Speichelproteinen oder Feuchtigkeit dissoziiert das Carbamidperoxid sofort in den aktiven Bestandteil, den eigentlichen Wirkstoff Wasserstoffperoxid und Harnstoff im Verhältnis 3:7 (Pascher, 2004). Dies bedeutet, dass bei einem Bleichmittel, wie z. B. dem Voco Perfect Bleach<sup>®</sup>, das als Wirkstoff 10%iges Carbamidperoxid enthält, nur etwa 3,5 % Wasserstoffperoxid durch Dissoziation freigesetzt werden. Die Zerfallsreaktion wird in Abb. 4 anhand der Strukturformel veranschaulicht.

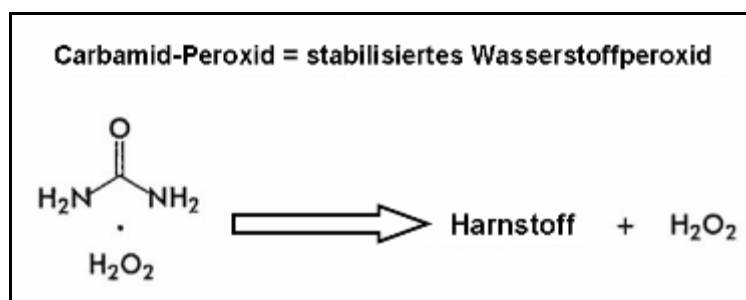


Abb. 4: Strukturformel von Carbamidperoxid sowie dessen Zerfallsreaktion zu Harnstoff und Wasserstoffperoxid.

Das freigesetzte Wasserstoffperoxid diffundiert in den Zahnschmelz und das Dentin, ein sehr geringer Anteil auch in die Pulpa. Der dabei freigesetzte Sauerstoff führt zu einer

mechanischen Entfernung von eingelagerten Farbstoffen (Pascher, 2004). Die eigentliche Zahnaufhellung erfolgt jedoch chemisch durch eine Oxidation der Farbstoffe in den Zahnhartsubstanzen. Im Zahninneren zerfällt das Wasserstoffperoxid in seine Radikale ( $H^0$ ,  $O^0$ ,  $OH^0$ ,  $HO_2^0$ ) bzw. Hydroxyl- ( $OH^\cdot$ ) oder Perhydroxyl- ( $OOH^\cdot$ )-Ionen. Die Entstehung der verschiedenen Ionen im Rahmen des Bleichprozesses wird im Folgenden erläutert.

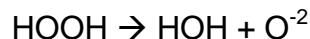
Wenn die schwächste Bindung zwischen den beiden Sauerstoffatomen des Wasserstoffperoxids bricht, entstehen 2 Hydroxylradikale:



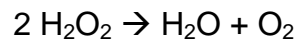
Die Ionisation des Wasserstoffperoxids kann ebenfalls die Entstehung des sehr reaktionsfreudigen freien Radikals Perhydroxyl-Ion und eines Wasserstoff-Ions bewirken:



Das Wasserstoffperoxid kann auch zu einem Wassermolekül und einem Sauerstoff-Ion, ein weniger reaktionsfreudiges Radikal, zerfallen:

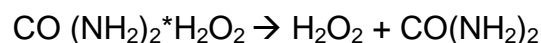


Kommt das Wasserstoffperoxid des Bleichgels mit den Peroxidasemolekülen des Speichels in Kontakt, so dissoziiert es in Wasser und Sauerstoffmoleküle:



Außerdem zeigt sich, dass die Ionisationsrate des Wasserstoffperoxids deutlich größer ist, wenn dieser gepuffert vorliegt und der pH-Wert sich im basischen Bereich befindet. Hat letzterer einen Wert zwischen pH 9,5 und pH 10,8 entstehen mehr freie starke Perhydroxyl-Radikale und der Bleicheffekt ist in der gleichen Zeit um 50 % effektiver als bei anderen pH-Werten (Sun, 2000).

Der entstehende Harnstoff wird im Folgenden zu Ammonium und Kohlendioxid abgebaut:



Von Vorteil ist, dass das Ammonium eine starke Base ist und dadurch den pH-Wert des Bleichgels erhöht, wodurch sich, wie vorstehend erläutert, der Bleicheffekt verstärkt und zudem die Remineralisation des Zahnschmelzes gefördert werden kann.



Die in der Zahnhartsubstanz abgelagerten Farbmoleküle besitzen in ihrer Molekülstruktur eine hohe Anzahl an Doppelbindungen. Durch diese wird das einfallende Licht absorbiert und verleiht dem Zahn daher die entsprechend dunklere Farbe (Kielbassa und Zantner, 2001; Lips, 2004). Die Peroxide führen so zunächst zur Spaltung von Ringmolekülen, wodurch Moleküle mit ungesättigten Doppelbindungen zurückbleiben. Dies beinhaltet schon einen ersten Aufhellungsschritt der Zahnschmelze, da farblose Spaltprodukte entstehen. Die entstandene Molekülstruktur ist jedoch gegenüber Peroxiden bei andauernder Bleichtherapie extrem instabil (Kielbassa und Zantner, 2001). Eine zusätzliche Einführung von Hydroxylgruppen in diese Struktur lässt diese farblos werden (Attin, 1998) (Abb. 6). Wasserstoffperoxid führt außerdem zur Reduktion farbiger Metalloxide, z. B. eisenhaltige Blutabbauprodukte (z. B.  $\text{Fe}_2\text{O}_3 \rightarrow \text{FeO}$ ) (Kielbassa und Zantner, 2001; Attin, 1998). Tetrazyklinbedingte Zahnverfärbungen werden vermutlich durch die oxidative Degradation eines in den Tetrazyklinen enthaltenen Chinonringes aufgehellt (Attin, 1998). Allerdings stellt es sich als äußerst schwierig dar, diese Verfärbungen ausschließlich mit einer Bleichtherapie zu entfernen.

Somit lässt sich zusammenfassend sagen, dass die Bleichmittel allgemein durch ihre Abspaltung von Sauerstoff eine Oxidation von anorganischen Farbstoffmolekülen bewirken. Die Aufhellungsprodukte sollen außerdem organisch verfärbte Bestandteile der Zahnhartsubstanz auflösen (Attin und Hickel, 2000). Demzufolge bedingen oxidative Reaktionen durch Umwandlung der Farbmoleküle zu farblosen Substanzen die aufhellende Wirkung der Bleichmittel (Kielbassa und Zantner, 2001). Schematisch ist die Wirkung der Bleichmittel in den folgenden Abb. 5 und 6 dargestellt.

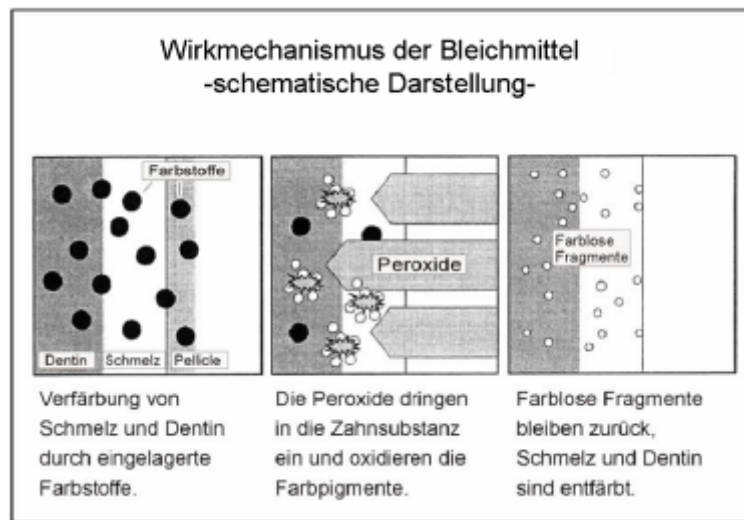


Abb. 5: Schematische Darstellung der Wirkung von Bleichmitteln: Die im Schmelz und Dentin eingelagerten Farbstoffe werden durch die in die Zahnhartsubstanz eindringenden Peroxide des Bleichmittels oxidiert. Danach bleiben farblose Fragmente zurück. Die Zahnhartsubstanzen sind dadurch entfärbt bzw. gebleicht (modifiziert nach Pascher, 2004).

Zu dieser zuletzt genannten chemischen Wirkungsweise der Bleichmittel kommt noch ein zusätzlicher physikalischer Effekt hinzu, wodurch die Zähne nach dem Bleichen heller erscheinen. Das auf den Zahn einfallende Licht kann ungehindert die gebleichte Zahnhartsubstanz durchdringen, da alle großen Farbstoffmoleküle durch die Peroxide gespalten beziehungsweise reflektiert werden. Dadurch entsteht der Eindruck blendend weißer Zähne (Lips, 2004).

Wenn alle Farbmoleküle gespalten wurden und in diesem Zustand vorliegen, ist keine weitere Zahnaufhellung mehr möglich. Weiteres Bleichen, so genanntes „Overbleaching“, würde einen Abbau der molekularen Strukturen und somit einen Zusammenbruch der Schmelzmatrix bedingen (Abb. 6). Dies würde bei chronischem Bleichen schließlich zur vollständigen Oxidation und damit verbundenem Schmelzmatrixverlust sowie Kohlendioxid- und Wasserentstehung führen.

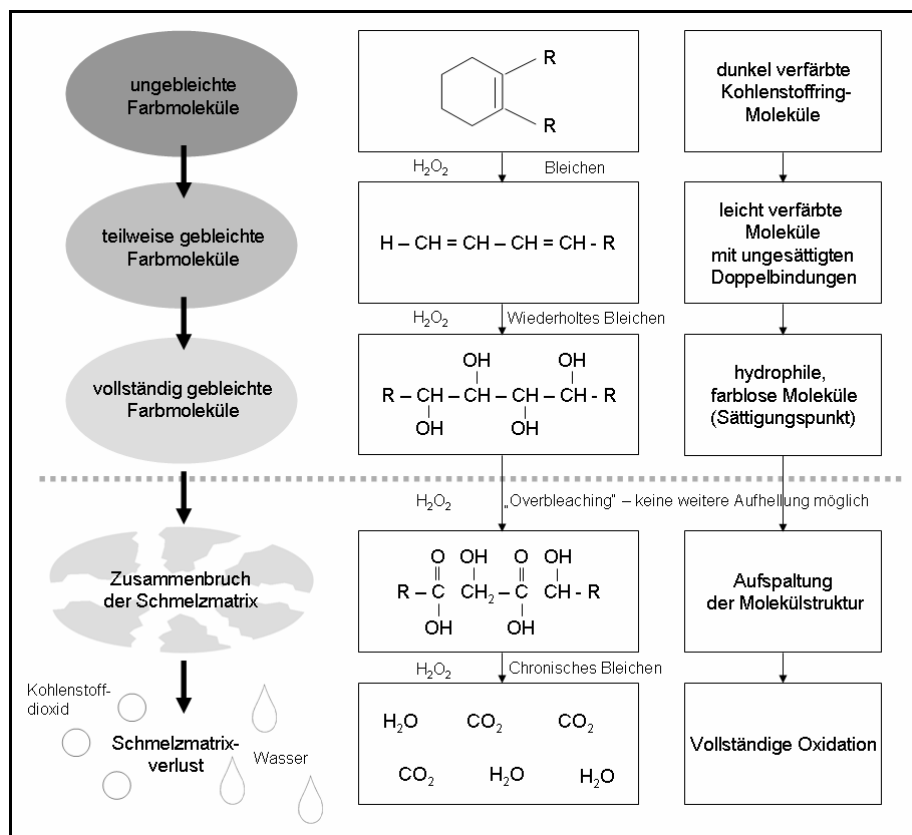


Abb. 6: Schematische Darstellung der Oxidation von Farbstoffmolekülen: Das Wasserstoffperoxid löst die ungesättigten Doppelbindungen der Farbpigmente auf, wodurch ein farbloses Molekül zurück bleibt. Eine weitere Behandlung mit dem Bleichmittel würde zu einer „Überbleichung“ führen und eine weitere Aufhellung des Zahnes wäre nicht mehr möglich. Die Schmelzmatrix würde nur noch zerstört werden (modifiziert nach Pascher 2004).

Häufig wird auch Wasserstoffperoxid als direkter Wirkstoff und nicht nur als Spaltprodukt des Carbamidperoxids in den Bleichmitteln verwendet. Der Vorteil des Bleichens mit Wasserstoffperoxid liegt darin, dass eine drei- bis sechsmal schnellere Aufhellung im Vergleich zu Carbamidperoxid erzielt werden kann (Berger et al., 2004). Da jedoch das Carbamidperoxid weniger aggressiv wirkt und über einen längeren Anwendungszeitraum verfügbar ist, setzt es sich zunehmend durch. Zudem ermöglicht das Carbamidperoxid, den eigentlichen Wirkstoff, das Wasserstoffperoxid, in einer stabilen Form zu lagern (Pascher, 2004).

Der Vollständigkeit halber wird an dieser Stelle auch Natriumchlorit als potenzieller Wirkstoff zur Zahnaufhellung erwähnt. Dieses setzt bei Vorhandensein von Säuren das starke Oxidationsmittel Chlordioxid frei. Durch den sehr niedrigen pH-Wert der Säuren und somit des Bleichgels sind Nebenwirkungen bei Verwendung derartiger Produkte deutlich erhöht. Die Frakturstabilität der Zähne sinkt massiv und des Weiteren lassen sich deutlich höhere Abrasionswerte verzeichnen. Allerdings haben natriumchlorithaltige Bleichmittel aus den zuletzt genannten Gründen auf dem Markt kaum eine Bedeutung (Lips, 2004). Auch zum internen Bleichen wurden zu Beginn des 20. Jahrhunderts diverse Chlorpräparate (Hypochlorit, Chlorkalk, Aluminiumchlorid) und Peroxide (Natriumperoxid, ammoniakalisches Wasserstoffperoxid, Bariumsuperoxid) sowie Natriumsulfit mit Borsäure verwendet. Letzteres bewirkt nach Bildung von Schwefelsäure eine Spaltung der Farbstoffmoleküle durch Reduktion, die anderen genannten Mittel bewirken, wie bereits erklärt, eine Oxidation der eingelagerten Farbstoffmoleküle (Bose und Ott, 1994).

Aufgrund dieser chemischen Reaktionsmechanismen der Peroxide mit den auf bzw. in den Zähnen eingelagerten Farbstoffen zeigt sich, dass die mineralische Zahnhartsubstanz (bestehend aus Hydroxylapatit) durch die Peroxide nicht angegriffen oder beschädigt wird (Duschner, 2002). Jedoch muss auch erwähnt werden, dass es grundsätzlich zu oxidativen Veränderungen an Lipiden, Proteinen und Nukleinsäuren kommen kann, wenn freie Radikale entstehen. Eine dadurch bedingte potenzielle mutagene Wirkung der Carbamidperoxide wurde in der Literatur bisher jedoch nicht dokumentiert (Attin, 1998).

Abhängig von der Konzentration des Wirkstoffes im Bleichmittel können heutzutage 4 verschiedene Arten an Aufhellungsprodukten erworben werden:

- Professionelle Produkte, die nur in der zahnärztlichen Praxis Anwendung finden, können 30- bis 35%iges Wasserstoffperoxid (ggf. zusätzlich licht- oder wärmeaktiviert) oder 35%iges Carbamidperoxid enthalten.
- Produkte, die nur über den Zahnarzt zu erwerben sind, die der Patient jedoch auch zu Hause anwenden darf, enthalten 5,5- oder 7,5%iges Wasserstoffperoxid oder 10-, 15- oder 22%iges Carbamidperoxid.
- So genannte „Over-the-Counter“-Produkte kann der Patient im Drogeriemarkt oder in der Apotheke, d. h. ohne zahnärztliche Beratung erwerben. Diese

enthalten als Wirkstoffkonzentration maximal 6%iges Wasserstoffperoxid oder 10%iges Carbamidperoxid.

- Freiverkäufliche „aufhellende“ Zahnpasten enthalten in der Regel nur sehr niedrige Konzentrationen an Wasserstoffperoxid oder Kalziumperoxid (Kihn et al., 2000).

## 1.6 Nebenwirkungen des Zahnbleichens

Aufgrund der oben bereits beschriebenen chemischen Wirkungsweise der Peroxide führen diese nicht zum Anlösen der mineralischen Zahnhartsubstanz. Dies wurde sowohl in diversen Studien mit Messungen der Mikrohärtigkeit von Zahnoberflächen als auch in elektronenmikroskopischen Untersuchungen der Oberfläche nachgewiesen. Mit Hilfe der Konfokalen-Laser-Raster-Mikroskopie ist erstmalig auch die Oberflächenbeschaffenheit des Wurzeldentins überprüft worden. Dabei zeigte sich, dass die Schmierschicht auf der Wurzeloberfläche trotz der Bleichmaßnahmen erhalten bleibt. Eine manchmal beschriebene Nebenwirkung des Bleichens, die Hypersensitivität der Zähne, kann somit nicht auf eine potenziell veränderte Wurzeloberfläche zurückgeführt werden (Robinson et al., 1997). Ebenso konnten weder im Schmelz noch im Dentin Substanzverluste oder Strukturveränderungen weder durch das Licht- noch durch das konfokale Laser-Scanning-Mikroskop nachgewiesen werden (Duschner, 2002; Peters, 2005). Eine mögliche Veränderung der Zahnhartgewebe, z. B. eine Reduktion der Mikrohärtigkeit, ist durch den eigentlichen Wirkstoff des Bleichmittels, die Peroxide, auszuschließen. Jedoch ist abhängig vom Trägermaterial des Wirkstoffes, speziell durch den pH-Wert der verwendeten Gel-Matrix, eine degradative Veränderung der Zahnhartsubstanz denkbar (Robinson et al., 1997). Je niedriger der pH-Wert, desto eher ist mit einer Aufrauung des Zahnschmelzes zu rechnen. Attin et al. beobachteten in einer Studie einen deutlichen Härteverlust der gebleichten Schmelzproben im Gegensatz zur ungebleichten Kontrollgruppe. Allerdings zeigte diese Studie ebenfalls, dass eine Fluoridierung der Zähne die Remineralisation des Zahnschmelzes erheblich fördert, sodass der Härteverlust bei den gebleichten und fluoridierten Proben deutlich geringer war, als bei den nur gebleichten Zähnen. Es konnte jedoch kein signifikanter

Unterschied zwischen den mit einem Fluoridlack (2,23 % Fluorid) und den mit einer Fluoridlösung (0,2 % Natriumfluorid) behandelten Proben festgestellt werden (Attin et al., 1997).

Zur Zunahme der Frakturanfälligkeit gebleichter Zähne gibt es laut Lenhard und Gómez keine klinischen Studien, die belegen, dass Bleichverfahren per se, ob es sich nun um interne oder externe Verfahren handelt, das Frakturrisiko erhöhen (2002).

Durch die Anwendung von Carbamidperoxidgelen konnten Veränderungen des Kalzium-, Phosphor-, Schwefel- und Kaliumgehaltes im Zahnschmelz-, -dentin und -zement nachgewiesen werden (Attin, 1998). Eindeutig konnte jedoch noch nicht geklärt werden, ob die Bleichtherapie nun zu einer Erhöhung oder zu einer Verringerung des relativen Gehaltes an Kalzium und Phosphor im Schmelz führt. Verschiedene Studien hierzu brachten gegensätzliche Ergebnisse hervor (Attin et al., 2001). Chemische Analysen zeigten, dass eine mögliche (teilweise) Umwandlung des Hydroxylapatits zu Kalziumorthophosphat sowie das Herauslösen des Kalziums aus der Zahnhartsubstanz abhängig vom verwendeten Carbamidperoxidgel sind und nicht für alle Bleichmittel mit diesem Wirkstoff pauschalisiert werden kann (Attin et al., 2002).

Postoperative Sensibilitätsstörungen, vor allem die vorübergehende Überempfindlichkeit der Zähne speziell auf kalte und warme Speisen, ist die am häufigsten beschriebene Nebenwirkung. Ursachen hierfür können zum einen das durch das Bleichgel bedingte kurzfristige Austrocknen der Zähne, zum anderen aber auch die geringen Mengen des in die Pulpa penetrierenden Wasserstoffperoxids sein (Zantner und Kielbassa, 2004). Im Gegensatz zu einer einmal täglichen Anwendung, z. B. über Nacht, zeigen sich diese Beschwerden verstärkt, wenn das Bleichgel mehrmals täglich für eine kürzere Zeitdauer angewendet wird, obwohl die Gesamtbehandlungszeit gleich ist. Dieser Effekt ist darauf zurückzuführen, dass die ursprüngliche Carbamidperoxidkonzentration im Schienenreservoir nach einer Stunde Tragedauer nur noch 70 % und nach 2 Stunden nur noch 50 % beträgt. Somit ist der Reiz für die Pulpa bei mehrmalig täglicher Anwendung größer (Attin et al., 2001).

Sind grundsätzlich Überempfindlichkeiten des Patienten bekannt oder freiliegende Zahnhälse offensichtlich, wird empfohlen, diese vorher mit einem Dentinversiegler vorzubehandeln, um solchen postoperativen Sensibilitätsstörungen vorzubeugen. Manche Firmen bieten hierfür einen speziell auf die Kombination mit Bleichmitteln

abgestimmten Desensibilisierungslack an (Koch, 2003). Eine therapiebegleitende Fluoridierung der Zähne ist grundsätzlich sinnvoll. Zum einen werden hierdurch Hypersensibilitäten reduziert, zum anderen fördert es die Remineralisation des gebleichten Zahnschmelzes (Koch, 2003; Attin et al., 1997).

Die Vitalität der Zähne ist bei sachgemäßer Anwendung der Bleichmittel nicht gefährdet, obwohl ein geringer Anteil der Peroxide durch das Dentin bis in die Pulpa penetrieren kann. Allerdings können erst mehrere tausendfach höhere Konzentrationen, als die, die bei einer normalen Bleichbehandlung entstehen, zu einer Enzyminhibierung in der Pulpa führen. Thitinanthapa et al. fanden heraus, dass auch die Viskosität des Bleichgels Einfluss auf die Peroxidkonzentration in der Pulpa nimmt: je höher die Viskosität eines Bleichgels, desto mehr Wasserstoffperoxid ist in der Pulpa nachweisbar (Attin et al., 2001).

Auf Restaurationen haben die Bleichmittel in der Regel keine Wirkung. Vollkommen unbeeinträchtigt durch diese Produkte bleiben keramische Materialien, Gold und Glasionomerezemente (Duschner, 2002). Gegebenenfalls kann es bei Kunststofffüllungen zu leichten Entfärbungen kommen. Allerdings werden die im Bleichbereich vorhandenen Füllungen in der Regel 1 bis 2 Wochen nach Beendigung der Bleichtherapie erneuert und dem Bleichergebnis angepasst. Temporäre Füllungen auf Methacrylatbasis sowie provisorische Kronen und Brücken verfärben sich durch Kontakt mit Peroxiden leuchtend orange (Robinson et al., 1997; Attin et al., 2001). Lediglich in einigen Studien wurden eine „Aufrauung“ und mögliche Risse in bestehenden Kompositrestaurationen beschrieben (Attin, 1998). Im Allgemeinen zeigen sich aber keine wesentlichen Veränderungen weder in der Füllungshärte noch in der Oberflächenmorphologie sowohl von Kompositmaterialien als auch bei Glasionomerezementen. Pioch et al. haben außerdem belegt, dass durch Wasserstoffperoxid keine Randundichtigkeiten verursacht werden (Peters, 2005).

Direkt im Anschluss an eine Bleichtherapie sollten allerdings keine adhäsiv befestigten Restaurationen eingegliedert werden, da die Adhäsivkraft vorübergehend leicht abnimmt, aber nach etwa 2 Wochen wieder vergleichbar zu ungebleichtem Zahnschmelz ist (Duschner, 2002). Diese verringerte Adhäsivkraft beruht auf den auf der Zahnoberfläche zurückgebliebenen Peroxidresten. Dieser unerwünschte Effekt kann entweder durch die bereits oben beschriebene Karenzzeit vermieden werden, oder auch

durch eine Vorbehandlung der Zähne mit einer Katalase enthaltenden Lösung (Attin, 1998). Neuere Studien hingegen behaupten, dass die reduzierte Haftkraft nicht durch eine erhöhte Sauerstoffkonzentration im aufgehellten Zahnschmelz bedingt ist, sondern durch die Veränderungen in der organischen und anorganischen Zusammensetzung des Zahnschmelzes zustande kommt. Besonders beeinträchtigt sei die Haftkraft bei der Verwendung von Haftvermittlern auf Azetonbasis (Attin et al., 2001). Zu bedenken ist noch, dass die Stärke des Haftvermittlers zwischen Restauration und Zahnhartsubstanz bei bereits eingesetzten Restaurationen leicht abnehmen kann, weshalb auch hier ein Kontakt mit dem Bleichmittel vermieden werden sollte (Duschner, 2002).

Bei einer deutlichen Überdosierung des Aufhellungsproduktes haben in-vitro Studien gezeigt, dass während des Bleichvorgangs Quecksilber aus Amalgamfüllungen freigesetzt werden kann. Deshalb sollte ein möglicher Kontakt zwischen Bleichmittel und Restaurationen vermieden bzw. kurz gehalten werden (Duschner, 2002). Die durch die Bleichmittel bedingte erhöhte Quecksilberabgabe aus Amalgamfüllungen kann jedoch durch die Versiegelung solcher Restaurationen mit einem Lack signifikant reduziert werden (Attin et al., 2001). Außerdem wurde festgestellt, dass die Oberfläche der Amalgamrestaurationen durch die Bleichbehandlung sogar härter wurde und sich zugleich dunkel verfärbte (Peters, 2005).

Rasterelektronenmikroskopisch wurde von Schemehorn und Mitarbeitern (2004) die Oberfläche von mit 6%igem Wasserstoffperoxid behandelten Zahngold, Amalgam, Keramik und Komposit untersucht. Die Autoren fanden keine sichtbaren Veränderungen in der Oberflächenmorphologie der verschiedenen dentalen Materialien im Vergleich zur unbehandelten Kontrollgruppe.

Irritationen der Schleimhaut können auftreten, wenn das Bleichmittel mittels einer Schiene appliziert wird, diese allerdings eine schlechte Passgenauigkeit besitzt oder das Bleichprodukt überstopft wird. Wenn beim In-Office-Bleaching die Schleimhaut mit einem individuellen lichthärtenden Gingivaschutz (s. Abb. 11) abgedeckt wird, kann dadurch das Auftreten dieser unerwünschten Nebenwirkung deutlich verringert werden (Zantner und Kielbassa, 2004). In einigen Studien wurde als „positive“ Nebenwirkung eine Verbesserung des gingivalen Gesundheitsstatus durch die Schienenapplikation von Carbamidperoxidgelen beobachtet (Attin, 1998). Ein Grund hierfür ist die antimikrobielle Wirkung der Peroxidbleichmittel auf anaerobe Bakterien (Bose und Ott, 1994). Von



großer Bedeutung ist allerdings die Tatsache, dass, wenn aufgrund der Schleimhautirritationen oder postoperativer Sensibilitäten der gebleichten Zähne die Therapie frühzeitig abgesetzt wurde, bei allen Probanden die Beschwerden ausnahmslos verschwanden (Attin et al., 2001).

Bezüglich der Adhäsion von Mikroorganismen auf gebleichtem Schmelz gibt es noch keine einheitliche Meinung. Es konnte festgestellt werden, dass die Adhärenz von *Streptococcus mutans* und *Streptococcus sobrinus* auf gebleichten Komposit- und Schmelzoberflächen steigt, allerdings die von *Actinomyces viscosus* sinkt. Es wird vermutet, dass dies mit der Ausbildung eines veränderten Speichel-Biofilms auf den gebleichten Flächen zusammenhängt (Attin et al., 2001).

Tierexperimentelle Untersuchungen haben gezeigt, dass die Verwendung von Carbamidperoxid auch bei hochdosierter Gabe keine systemisch-toxikologischen Folgen herbeiführt. Obwohl eine direkte Applikation Carbamidperoxids mit einer Magensonde im Magen zu akuten Ulzerationen führt, würde ein Verschlucken selbst der gesamten applizierten Menge des Carbamidperoxidgels nicht zu Nebenwirkungen im Magen führen. Zudem liegt zwischen der möglicherweise verschluckbaren Menge an Bleichgel und der toxikologisch bedenklichen ein Sicherheitsfaktor von 100-239 (Attin, 1998). Als weiterer Schutz sind zudem im Speichel Enzyme enthalten, die den Abbau von Wasserstoffperoxid beschleunigen, wodurch das Auftreten von Nebenwirkungen reduziert wird. Der Verdacht, dass Wasserstoffperoxid karzinogen ist oder orale Tumore fördert, kann bei ordnungsgemäßer kurzzeitiger Verwendung des Bleichmittels ausgeschlossen werden. Diese Meinung wird auch von der American Dental Association propagiert (Peters, 2005). Es wird jedoch diskutiert, dass Tabak in Kombination mit dem Wirkstoff Wasserstoffperoxid möglicherweise eine kanzerogene Wirkung haben kann. Deshalb sollte laut Bizhang das Rauchen für den Zeitraum der Bleichtherapie unterlassen werden (Anonymus, 2004).

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass bei ordnungsgemäßer Anwendung der Produkte die potenziellen Nebenwirkungen nur vorübergehend bestehen bzw. sich durch einfache zahnärztliche Tätigkeiten, wie z. B. eine Fluoridierung der Zähne, reduzieren und korrigieren lassen.

## 1.7 Verschiedene Bleichtechniken

### 1.7.1 Internes Bleichen

Die Indikation für internes Bleichen ist bei avitalen wurzelbehandelten diskolorierten Zähnen gegeben. Die Ursachen für die Verfärbung avitaler Zähne sind häufig iatrogen bedingt. Dies kann z. B. durch eine unvollständige Ausräumung des Pulpenkavums während der Exstirpation, eine unzureichende Blutstillung während der Instrumentierung oder durch im koronalen Pulpenkavum befindliches Wurzelfüllmaterial verursacht werden. Die Bleichtherapie wird in solchen Fällen häufig auch „Walking-Bleach-Technik“ genannt, weil das Bleichmittel in das Pulpenkavum eingelegt wird, der Zahn provisorisch verschlossen wird und der Patient dann für ein paar Tage mit dem Bleichprodukt im Zahn „herumläuft“. Dieser Vorgang ist schematisch in der folgenden Abb. 7 veranschaulicht.

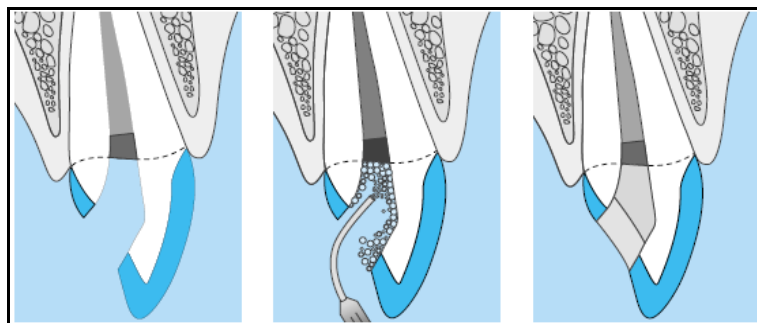


Abb. 7: Internes Bleichen/Walking-Bleach-Technik: Die Füllung in der Zahnkrone eines avitalen wurzelgefüllten Zahnes wird entfernt. In die entstandene Kammer wird das Bleichmittel gefüllt und der Zahn zunächst für ein paar Tage provisorisch verschlossen. Ist der gewünschte Aufhellungseffekt erreicht, wird das Bleichmittel wieder entfernt und der Zahn definitiv versorgt oder der Bleichvorgang nochmals wiederholt.

Voraussetzung für diese Methode ist eine suffiziente Wurzelfüllung. Undichtigkeiten, vor allem nach apikal, können durch diffundierende Peroxide zur Schädigung des Parodonts führen. Eine exakt gelegte dichte Unterfüllung, die im richtigen Verhältnis zum Attachmentniveau steht, ist unabdingbar. Es sollte ferner beachtet werden, dass bei

einer bestehenden Parodontitis eine solche Bleichbehandlung kontraindiziert ist (Lenhard und Gómez, 2002).

Dass vor allem zervikale Resorptionen eine unerwünschte Nebenwirkung sind, die durch interne Bleichmaßnahmen bedingt sein können, wurde durch Heithersay 1999 bestätigt. Auch wenn der genaue Vorgang noch nicht bekannt ist, wird vermutet, dass durch das Zahnhalssdentin penetrierende Wasserstoffperoxid ein inflammatorisch-resorptiver Prozess ausgelöst wird, der vermutlich mit einer Bakterienkolonisation der eröffneten Dentintubuli einhergeht. Dieser Vorgang wird beschleunigt, wenn zusätzlich noch Wärme zugeführt wird. Dadurch erweitern sich die Dentintubuli, wodurch das Wasserstoffperoxid leichter und schneller ins Dentininnere eindringen kann. Untersuchungen zur Zytotoxizität verschiedener interner Aufhellungspräparate auf Desmodontalzellen sind zu folgenden Ergebnissen gekommen: Ein Gemisch aus Natriumperborat und 30%igem Wasserstoffperoxid ist toxischer als reines 30%iges Wasserstoffperoxid. Die geringste Toxizität weist ein Gemisch von Natriumperborat mit Wasser auf (Attin et al., 2002). Dessen Wirksamkeit ist nicht geringer als die von Natriumperborat gemischt mit Wasserstoffperoxid, wie Rotstein et. al (1993) herausfanden. Daher sollte auf 30%iges  $H_2O_2$  mit oder ohne adjuvante thermokatalytische Technik verzichtet werden, da diverse Untersuchungen zeigen, dass diese Verfahren zur verstärkten Bildung chemischer Radikale und vermehrt zu externen zervikalen Resorptionen führen (Attin, 2001).

Somit ist die 1994 vertretene Empfehlung zur Wärmezufuhr bei Peroxidanwendungen, „man wählt die höchste Temperatur, die der Patient verträgt, in der Regel zwischen 70°C und 80°C“ (Bose und Ott, 1994), heutzutage absolut obsolet. Demzufolge sollte bei der Verwendung interner Bleichmittel der Verbindung der Vorzug gegeben werden, von der die wenigsten Nebenwirkungen zu erwarten sind (Attin et al., 2002). So lautet auch die Empfehlung der DGZMK, wonach zur intrakoronalen Verwendung dem Natriumperborat nur destilliertes Wasser oder, maximal 3%iges Wasserstoffperoxid, beigemischt werden sollte (Attin und Hickel, 2000). Um zum gewünschten Aufhellungsergebnis zu gelangen, kann eine mehrfache Einlage des Bleichmittels durchaus indiziert sein.

Ebenso erfolgsentscheidend bei der internen Bleichtherapie ist eine absolut dichte provisorische Füllung. Ein mögliches und frühzeitiges Herausspülen des Aufhellers aus

dem Zahn muss vermieden werden, da dies zu einem schwächeren Behandlungsergebnis am Wirkort und zu unerwünschten Nebeneffekten in den umgebenden Geweben führt (Attin, 2001). Zugleich muss eine Dentinrekontamination des aufgehellten Zahnes mit Farbstoffen und Bakterien verhindert werden. Denn als Hauptursache für das Nachdunkeln der Zähne nach einem längeren Beobachtungszeitraum werden undichte Füllungen vermutet, durch die Farbstoffe und Bakterien ins Zahninnere penetrieren können (Attin et al., 2002). Um einen Langzeiterfolg zu erhalten, sollte die Kavität erst etwa 2 Wochen nach abgeschlossener Bleichbehandlung wegen der vorübergehenden reduzierten Adhäsivkraft des Zahnschmelzes mit einer definitiven Kompositfüllung versorgt werden (Attin, 2001). Diese adhäsiv verankerte Restauration trägt des Weiteren zur Stabilität des Zahnes bei und reduziert seine Frakturanfälligkeit (Attin und Hickel, 2000).

Neuerdings werden auch kombinierte Techniken aus der Walking-Bleach-Methode und der herkömmlichen Schientherapie angewendet. Jedoch bedeckt die Schiene in diesem Fall nur den einen zu bleichenden Zahn vollständig. So findet ein gleichzeitig internes und externes Bleichen statt. Vorteil dieser Methode ist die zeitlich verkürzte Behandlungsdauer. Allerdings hängt jene Art der Therapie von einer hohen Compliance des Patienten ab. Das muss dem Behandler und dem Patienten bewusst sein. Da der Patient mit einem „offenen Zahn“ herumläuft, muss er die Kavität besonders gut pflegen. Ebenso müssen seine manuellen Geschicklichkeiten ihn dazu befähigen können, das Bleichmittel mit einer Spritze in das Pulpenkavum zu applizieren, bzw. das Kavum nach den Mahlzeiten gründlich zu spülen und zu säubern. Auch sein Ess- und Rauchverhalten sollte der Patient während dieser Behandlung ändern. Dazu zählen die Vermeidung von Zitrusfrüchten, Kaffee und Tee sowie das Nicht-Rauchen für etwa eine Woche (Lenhard und Gómez, 2002).

### **1.7.2 Externes Bleichen**

Eine Indikation zum externen Bleichen ist bei pulpavitalen verfärbten Zähnen gegeben. Die unterschiedlichen Gründe, die zu Diskolorationen der Zahnfarbe führen, wurden schon erwähnt. Bereits seit 1877 hat man diverse Mittel äußerlich auf die Zähne

aufgetragen um eine Zahnaufhellung zu erreichen. Dazu zählten Oxalsäure, Chlor, Kalziumhypochlorit oder Wasserstoffperoxid. Letzteres wurde in 30%iger Konzentration erstmals 1884 von Harlan als Bleichmittel zur Aufhellungstherapie vitaler Zähne beschrieben (Pascher, 2004).

In einem Übersichtsartikel von Bose und Ott (1994) werden 2 verschiedene Verfahren zur Zahnaufhellung genannt, die zu diesem Zeitpunkt vor allem im englischsprachigen Raum Anwendung fanden: Bleichen und Microabrasion. Die Vorgehensweise war damals deutlich radikaler bzw. invasiver als heutzutage. Bevor die Zähne einmal wöchentlich mit 30- bis 35%igen Wasserstoffperoxid beschickt wurden, zum Teil mit zusätzlicher Licht- oder Wärmeapplikation, wurde zunächst die Schmelzoberfläche mit 37%iger Phosphorsäure angeätzt. Auch wenn das niedriger konzentrierte Carbamidperoxid als Bleichmittel verwendet wurde, wurden die Zähne zunächst mit säurehaltigen Pasten gereinigt. Sollten die Zähne durch Microabrasion aufgehellt werden, so wurde zunächst die oberflächliche Schmelzschicht durch Anwendung starker Säuren (18%ige Salzsäure, 37%ige Phosphorsäure) und Bimsmehl-„Politur“ abgetragen. Dies wurde häufig mit einer zusätzlichen Peroxidapplikation kombiniert (Bose und Ott, 1994). Diese Verfahren finden heute keine Anwendung mehr.

Beim externen Bleichen werden im Allgemeinen 3 verschiedene Verfahren unterschieden:

- Home-Bleaching mit 10- bis 20%igem Carbamidperoxid
- In-Office-Bleaching/Waiting-Room-Bleaching mit 30- bis 35%igem Carbamidperoxid
- Chairside-Bleaching mit mehr als 35%igen Carbamidperoxid oder 35%igen Hydrogen-Wasserstoffperoxid

Von diesen 3 Methoden hat sich das Home-Bleaching durchgesetzt. Die klassische Vorstellung dieses Verfahrens ist die Anwendung des Bleichmittels über Nacht in einer Schiene, daher auch von manchen Autoren als „nightguard vital bleaching“ bezeichnet. Nach Abformung der beiden Kiefer wird im Labor eine patientenindividuell angefertigte Kunststoffschiene hergestellt, in die das Bleichmittel appliziert wird, das in der Regel 10- bis 15%iges Carbamidperoxid als Wirkstoff enthält. Diese passgenaue Schiene setzt der

Patient dann auf seinen Zahnbogen auf und lässt das Bleichmittel etwa 2 Stunden über Tag oder über Nacht einwirken (Wiegand und Attin, 2002). Das in der vorliegenden Studie verwendete Bleichmittel, Voco Perfect Bleach<sup>®</sup>, gehört zu dieser Gruppe der Aufhellungsprodukte.

Inzwischen hat sich der Begriff des Home-Bleachings jedoch ausgedehnt. Es wird darunter nicht nur noch die zuletzt beschriebene Technik verstanden. Alle Bleichmittel, die der Patient zu Hause anwendet, werden heutzutage zum Home-Bleaching gezählt. Dabei sind frei verkäufliche Home-Bleaching-Produkte von solchen zu unterscheiden, die der Patient ausschließlich über den Zahnarzt erwerben kann.

Erstere gibt es auch in verschiedenen Applikationsweisen. Die Firma Colgate bietet mit dem Simply White™ das „Tipp Ex“-System an, bei dem das Bleichgel lediglich mit einem Pinsel auf die geputzten Zähne gestrichen wird. Odol-med 3<sup>®</sup> bietet sowohl mit Bleichgel beschichtete Folien als auch Zahnschienen zum Selbermachen an. Jedoch ist bei allen freiverkäuflichen Drogerieprodukten die Wirkstoffkonzentration verringert. Dadurch sollen potenzielle Nebenwirkungen bei unsachgemäßer Anwendung der Bleichmittel durch den Patienten reduziert werden. Die geringere Konzentration bedingt jedoch auch eine längere Behandlungsdauer bei einem weniger erfolgreichen Endergebnis im Vergleich zu anderen Bleichverfahren. Folglich sind diesbezügliche Enttäuschungen des Patienten nicht selten (Lips, 2004). Werden Home-Bleaching-Produkte über den Zahnarzt bezogen, ist eine zahnärztliche Untersuchung und Beratung unumgänglich. Um Komplikationen vorzubeugen, ist dies auch der Weg der in der heutigen Literatur propagiert wird (Attin, 1998).

Eine weitere Methode ist das In-Office-Bleaching mit 30- bis 35%igem Carbamidperoxid als wirkende Substanz. Bei diesem Verfahren ist der Aufhellungserfolg deutlich schneller zu erreichen, jedoch nur durch die Verwendung eines höher konzentrierten Wirkstoffes (30 % bis 35 % statt maximal 22 % beim Home-Bleaching). Daher muss allerdings das Bleichmittel auch in der zahnärztlichen Praxis angewendet werden und darf nicht mit nach Hause genommen werden (Bonness et al., 2000). Der Patient sitzt gegebenenfalls für die Dauer der Einwirkung mit der Schiene im Mund im Wartezimmer.

Es gibt verschiedene Vorteile für das In-Office-Bleaching. Ein Hauptgrund hierfür ist, dass das Bleichen unter zahnärztlicher Kontrolle erfolgt. Somit können Kontakte des Bleichmittels mit der umgebenden Schleimhaut und eine mögliche Verschluckgefahr leichter vermieden werden. Das mit dieser Methode schneller erreichbare Behandlungsziel steigert häufig die Zufriedenheit und Motivation der Patienten (Luk et al., 2004).

Nach Zantner und Kielbassa nimmt hingegen das schienenlose In-Office-Bleaching einen immer größeren Stellenwert ein und soll die führende Stellung des Home-Bleaching mit einer Schienentherapie ablösen (2004). Dies zeigt sich auch dadurch, dass es immer mehr neue Produktsysteme und -variationen für das neue In-Office-Bleaching gibt: 35%iges Wasserstoffperoxid kombiniert mit einer nichtwärmeproduzierenden Lampe, 30%iges Wasserstoffperoxid, das spezielle Kristalle beinhaltet, die besonders viel Licht absorbieren, kombiniert mit einer Kaltlichtquelle, oder 15%iges Wasserstoffperoxid kombiniert mit einer Kaltlichtquelle. Das besondere an den neuen Produkten ist die fotoaktive Komponente, also ein Aktivator im Bleichmittel, der speziell auf die Lichtquelle abgestimmt sein sollte. Dadurch kann die Anwendungszeit reduziert und unter Umständen eine schnellere Zahnaufhellung erreicht werden. Außerdem wird davon ausgegangen, dass das Indikationsspektrum bei dieser Methode größer ist als bei anderen Verfahren. Es umfasst die Aufhellung mehrerer gleichmäßig dunkler Zähne, wenn eine generelle Aufhellung dieser um mindestens 3 Farbstufen in kurzer Zeit angestrebt ist. Weiterhin ist es die Therapie der Wahl beim Aufhellen einzelner Zähne sowie bei der Aufhellung von Zahnpaaren wie z. B. den Eckzähnen (Zantner und Kielbassa, 2004).

Beim Chairside-Bleaching werden Bleichprodukte mit noch höheren Wirkstoffkonzentrationen, d. h. 35%iges Carbamidperoxid oder mehr, alternativ 35%iges Hydrogen-Wasserstoffperoxid (bis zu 50 %) oder mehr, verwendet. Dies beschleunigt zwar den Aufhellungsprozess der Zähne, erhöht jedoch auch das Risiko des Auftretens von unerwünschten Nebenwirkungen (z. B. irreversible Pulpaschädigungen). Aus diesem Grund sollte von der zuletzt beschriebenen Methode Abstand genommen werden. Eine thermokatalytische Aufhellung mit Applikation von erhitztem 30- bis 35%igem Wasserstoffperoxid, so genanntes Power-Bleaching, kann nicht mehr empfohlen werden. Dieses Verfahren führt zu starken Irritationen der Pulpa aufgrund einer möglichen Temperaturerhöhung in derselben um 5 bis 8°C (Attin und Hickel,

2000). Grundsätzlich wird auch von der DGZMK das so genannte Power-Bleaching heutzutage noch abgelehnt. Da sich jedoch die Lasertechnologie immer weiter entwickelt und es inzwischen Laser gibt, die nur eine geringe Temperaturerhöhung des Zahnes bewirken, könnte das Power-Bleaching im Chairside-Verfahren in Zukunft wieder einen größeren Stellenwert im Rahmen der Bleichtherapie einnehmen. Es gibt hierzu schon einzelne in-vivo Studien, die positive Ergebnisse mit dieser Therapie erreichten, wobei auch die gefürchteten irreversiblen Pulpaschädigungen durch eine zu starke Temperaturerhöhung ausblieben (Berger et al., 2004; Hopp und Biffar, 2004). Hierauf wird in Kapitel 1.8.4 detaillierter eingegangen.

## **1.8 Applikationssysteme - externes Bleichen**

Bei allen verschiedenen Applikationsformen sollte beachtet werden, dass ein unkontrolliertes Austreten sowohl des Carbamidperoxids als auch der Trägersubstanzen in die Mundhöhle möglichst vermieden wird (Peters, 2005).

### **1.8.1 Schienensysteme**

Das Home-Bleaching mit einer Schiene wurde von Haywood und Heymann Ende der achtziger Jahre entwickelt (Duschner, 2002; Zantner und Kielbassa, 2004). Damals wurde es von den Erfindern als „nightguard vital bleaching“ bezeichnet. Wie schon in Kapitel 1.7.2 erläutert, versteht man darunter eine passgenaue individuell gefertigte Kunststoffschiene, die der Patient selber mit dem Bleichmittel beschickt und dann über Nacht trägt (Duschner, 2002). Um eine Bleichbehandlung nach entsprechender Indikationsstellung mit einem Schienensystem durchzuführen, ist eine sorgfältige Abformung mit Alginat des Ober- und Unterkiefers notwendig. Anhand dieser werden dann Gipsmodelle hergestellt (Wiegand und Attin, 2002).

Es ist darauf zu achten, dass alle Zahnflächen und der Gingivalsaum deutlich und sauber dargestellt sind (Bonness et al., 2000). Am Modell wird auf die Vestibularflächen der Zähne ein Lack oder spezieller lichthärtender Kunststoff aufgetragen, der als



Platzhalter dient, um dadurch in der Schiene ein Reservoir für das Bleichgel zu schaffen (Wiegand und Attin, 2002; Bonness et al., 2000). Dann wird auf den Modellen eine Kunststoffschiene im Tiefziehverfahren hergestellt. Beim Zuschneiden der Schiene ist auf einen exakten zervikalen Abschluss zu achten, um beim Bleichvorgang durch mögliches austretendes Bleichmittel Gingivairritationen zu vermeiden (Wiegand und Attin, 2002). Es sollte etwa ein Abstand von 0,3 - 0,5 mm zum Gingivalsaum eingehalten werden (Bonness et al., 2000). Abb. 8 (rechts) zeigt eine solche Schiene in situ. Auf der linken Abbildung erkennt man, wie das Bleichmittel aus der Spritze in die Schiene appliziert wird.



Abb. 8: Schienenbleichen: Das linke Bild zeigt, wie aus einer Applikationsspritze das Bleichgel in die Bleichschiene gefüllt wird. Das rechte Bild zeigt den Sitz einer Oberkieferbleichschiene in situ.

Die vestibulären Vorwölbungen der Schiene dienen nun als Gel-Reservoir für das Aufhellungsprodukt. Beim zweiten Zahnarztbesuch wird die Schiene im Mund des Patienten einprobiert und optimal angepasst. Dann wird der Patient über die Handhabung genau instruiert und schließlich werden ihm die Schiene und das Bleichprodukt durch den Zahnarzt ausgehändigt. Es hat sich gezeigt, dass es sinnvoll ist, dem Patienten nur so viel Bleichmittel auszuhändigen, wie er bis zum nächsten Kontrolltermin nach Beginn der Behandlung, in der Regel nach etwa 3 bis 4 Tagen, benötigt. Auf diese Weise wird sichergestellt, dass der Patient wieder in der Praxis erscheint und der Therapieverlauf zumindest intervallweise zahnärztlich observiert werden kann (Wiegand und Attin, 2002).

In den USA sind auch freiverkäufliche Schienenbleichsysteme erwerblich. Die mitgelieferten konvektionierten Schienen sind warmplastisch verformbar und können vom Patienten selber angepasst werden. Allerdings sitzen diese Schienen nie so optimal, als wären sie vom Zahnarzt individuell angefertigt worden. Dadurch erhöht sich das Risiko unkontrollierter und erhöhter Peroxidfreisetzung aus dem Bleichmittel in die Mundhöhle (Duschner, 2002).

### 1.8.2 Foliensysteme

Ein dünner, transparenter Polyethylenstreifen, der so geformt ist, dass er sowohl optimal auf den oberen als auch den unteren Zahnbogen passt, dient als Trägermaterial für das eigentliche Bleichmittel (Abb. 9). Da die aufhellenden Substanzen ausschließlich Kontakt mit den Labialflächen der Frontzähne haben, kommt es in diesem Bereich, im Englischen häufig als „Smile Teeth“ bezeichnet, zu einer gezielten Wirkung. Hierdurch wird ein Kontakt mit Restaurationen vermieden, was zu möglichen Nebenwirkungen (siehe 1.6) führen könnte. Für manche Patienten ist die Anwendung dieser Streifen komfortabler. Sie empfinden es als wesentlich angenehmer, da ihre Sprachfähigkeit weniger eingeschränkt ist als beim Tragen einer Bleichschiene. Auch die Anwendungsdauer ist mit zweimal täglich etwa 30 Minuten im Gegensatz zur Schienenapplikation (zweimal täglich 1 – 2 h) deutlich kürzer. Postoperative Sensibilitätsstörungen wurden beim Foliensystem seltener beobachtet (Attin et al., 2002).

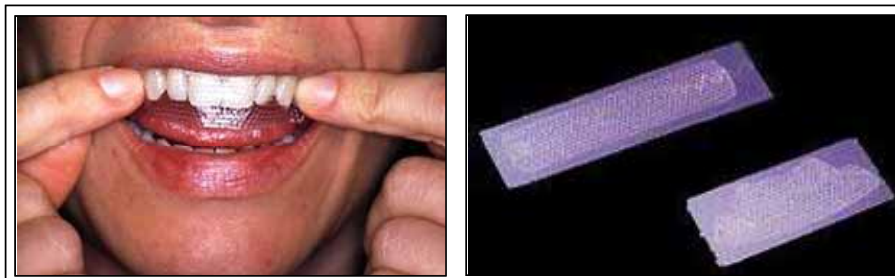


Abb. 9: Folienbleichen: Anwendungsweise der mit Bleichmittel beschickten Folienstreifen: Sie werden auf die Labialfläche der Zähne „geklebt“ - links in situ, rechts Bleichstreifen (aus Duschner, 2002).

### 1.8.3 Lokale Applikation

Es gibt Home-Bleaching-Produkte mit einer geringen Wirkstoffkonzentration, die in der Regel ein- bis zweimal täglich über einen Zeitraum von 2 Wochen lokal auf jeden einzelnen Zahn vom Patienten selbst aufgetragen werden. Abhängig vom Hersteller ist das Bleichgel mit Hilfe eines Stiftes (Oral-B Rembrandt Whitening Pen™) oder mit einem Pinsel auf die Zahnoberfläche zu applizieren. Dazu zählt Colgate® Simply White™ als freiverkäufliches Bleichmittel. In den USA enthält es 18%iges Carbamidperoxid als Wirkstoff, in Deutschland lediglich 10%iges. Dieses Bleichgel wird mit einem Pinsel, direkt auf die geputzten Zähne aufgetragen und soll anschließend 30 Minuten aktiv wirken (Abb. 10).



Abb. 10: Links ist ein Produkt gezeigt, mit dem das Bleichmittel mittels eines Pinsels lokal auf die Zahnoberfläche aufgetragen wird. Rechts ist ein Aufhellungsprodukt abgebildet, das mittels eines „Stiftes“ auf den Zahn appliziert wird.

### 1.8.4 Licht-/Laser-assistierte Techniken

Lichtunterstütztes Bleichen wird häufig auch als Chairside-Verfahren bezeichnet, da der Patient während der Therapie im Behandlungsstuhl in der zahnärztlichen Praxis sitzt. Dabei kommt es zu einer durch das Licht ausgelösten Wärmeentwicklung und damit zur Erwärmung des Wasserstoffperoxids. Abb. 11 zeigt die Aktivierung des Bleichgels

mittels einer Lichtquelle in situ. Die Schleimhaut ist durch einen flüssigen Kofferdam geschützt.

Durch die Verwendung einer zusätzlichen Lichtquelle entstehen mehr Sauerstoffradikale pro Zeiteinheit und die Freisetzung von Farbstoffmolekülen wird erhöht (Luk et al., 2004). Dadurch kommt es zu einer Beschleunigung des Bleichvorganges, die Behandlungsdauer wird verkürzt. Letztere ist daher beim so genannten Power-Bleaching noch kürzer als die beim regulären In-Office-Bleaching. Auch der Einsatz des Lasers in der Bleichtherapie aktiviert einen thermokatalytischen Prozess. Hierdurch kommt es bei einer Temperaturerhöhung um 10°C zu einer Verdoppelung der Reaktionsgeschwindigkeit (Hopp und Biffar, 2004).



Abb. 11: Licht-, Laserassistiertes Bleichen: Die Gingiva ist durch einen flüssigen Kofferdam geschützt. Das Bleichgel wird mittels einer Lichtquelle aktiviert (aus: <https://decs.nhgl.med.navy.mil/4QTR05/QA/equip1.htm>).

Es gibt diverse Gründe, weshalb die herkömmliche Bleichtherapie für manche Patienten nicht in Frage kommt. Dies wären z. B. der relativ lange Zeitaufwand, Irritation oder Behinderung durch das Tragen der Bleichschiene, der möglicherweise unangenehme Geschmack des Bleichgels oder gingivale Irritationen sowie Magenprobleme, die durch verschlucktes Bleichgel verursacht werden könnten. In solchen Fällen bietet sich die licht- oder laserassistierte Bleichtherapie an. Der Zeitaufwand ist insgesamt deutlich geringer und das Bleichergebnis wird wesentlich schneller erreicht. Somit besteht grundsätzlich die Wirkung des Lasers in der Aktivierung des Bleichmittels, wodurch die

Zahnaufhellung erfolgt. Sowohl die Aktivierung des Bleichproduktes durch den Laser als auch die Applikation des Bleichgels auf den Zahn kann mehrfach hintereinander wiederholt werden. Die Auswirkungen des Lasers auf die Zahnhartsubstanz sind von der Laserart sowie der Anwendungsdauer abhängig (ADA Council on scientific affairs, 1998). Blaues Plasma-Bogen-Licht, blaues Halogenlicht oder Laserlicht der Wellenlängen 488 nm, 980 nm und 10,5  $\mu\text{m}$  kann die Bleichreaktion initiieren oder unterstützen (Hopp und Biffar, 2004). Der erste Laser wurde 1960 entwickelt. Ziemlich schnell nach der „Entdeckung“ wurden Studien durchgeführt, um potenzielle Möglichkeiten für den Einsatz des Lasers in der Zahnmedizin herauszufinden. Mit der Entwicklung des flexiblen Fiberglassystems wurde die Einsetzbarkeit des Lasers in der Zahnmedizin deutlich vereinfacht (ADA Council on scientific affairs, 1998). Häufig wird das Bleichmaterial in der Komplementärfarbe zur verwendeten Lichtquelle eingefärbt. Dadurch soll es zum einen effektiver sein, zum anderen kann dadurch die Schmelzunterlage und die Pulpa vor zu starker Erwärmung geschützt werden (Hopp und Biffar, 2004).

Zur Bleichtherapie anerkannt sind von der Food and Drug Administration der Argon- und der  $\text{CO}_2$ -Laser.

Der Argon-Ionen-Laser ist ein Glaslaser mit Argon-Ionen als laseraktives Material. Die intensivste Wirkung erreicht er bei einer Wellenlänge zwischen 0,488 und 0,514  $\mu\text{m}$ . Seine Anwendung in der externen Bleichtherapie verkürzt deutlich die Behandlungsdauer und soll das Auftreten von Nebenwirkungen reduzieren. Vor allem mit blauem Licht bei einer Wellenlänge von 488 nm ist er für die Bleichtherapie geeignet. Die andere Wellenlänge mit grünem Licht ist für die Behandlung der Weichgewebe indiziert. Der Vorteil des Argon-Ionen-Lasers gegenüber anderen Energiequellen, wie zum Beispiel der Plasma-Bogen-Lampe, Halogen-Lampe und anderen Hitze-Lampen, ist, dass dieser Laser Licht mit sehr energiereichen Photonen absendet. Diese regen das Wasserstoffperoxidmolekül zu einer Molekularschwingung an. Dabei entsteht nur ein geringer thermischer Nebeneffekt. Demzufolge soll die Wärmeentwicklung deutlich geringer im Vergleich zu anderen Lichtquellen sein. Manche Autoren sahen im Jahr 2000 den Argon-Ionen-Laser als die wertvollste Energiequelle für das Power-Bleaching an (Sun, 2000). Eine 2001 durchgeführte Studie ergab, dass im Vergleich zum Argon-

Ionen-Laser sowohl plasmabogenlicht-aktiviertes Bleichen als auch im „Bleichmdous“ verwendetes Quartz-Tungsten-Halogenlicht zu einer höheren intrapulpalen Temperaturerhöhung führen (Baik et al., 2001). Zusammenfassend lässt sich sagen, dass durch die Verwendung des kurzwelligigen Lichtes (488 nm) die Temperaturen von Schmelz und Pulpa nur minimal steigen und damit das Nebenwirkungsrisiko reduziert wird (Hopp und Biffar, 2004).

Die Hauptwellenlänge des CO<sub>2</sub>-Lasers, dessen laseraktives Material das Kohlendioxid ist, liegt bei 10,6 µm. Er generiert Infrarot-Licht, das vom Wasser sowohl in den Weich- als auch den Hartgeweben gut absorbiert wird. Nach der Anwendung des CO<sub>2</sub>-Lasers zur Bleichtherapie wurde im Vergleich zum Argon-Ionen-Laser in einigen Studien eine Pulpanekrose aufgrund der Temperaturerhöhung beobachtet. Daher kann CO<sub>2</sub>-laser-unterstütztes Bleichen zurzeit nicht empfohlen werden (ADA Council on scientific affairs, 1998).

Der Diodenlaser ist ein Halbleiter-Laser und kann für alle Behandlungen am Weichgewebe eingesetzt werden. Bei einer Wellenlänge von 980 nm wird die Gallium-Aluminium-Arsenid-Diode auch zum Bleichen verwendet (Sun, 2000). Diodenlaser sind mit verschiedenen Wellenlängen verfügbar. Diodenlaser-unterstütztes Bleichen bewirkt ebenfalls eine thermokatalytische Wirkungssteigerung des Bleichgels, wodurch der für die Bleichtherapie benötigte Zeitaufwand deutlich reduziert werden kann. Verschiedene in-vivo Studien mit dieser Methode zeigten eine erfolgreiche und schnelle Behandlung mit nur selten auftretenden und geringen Nebeneffekten auf die Pulpa (Berger et al., 2004; Hopp und Biffar, 2004). Einige Autoren halten somit den Diodenlaser für eine günstige Energiequelle beim Power-Bleaching aufgrund der kurzen Anwendungszeit, geringen Temperaturentwicklung und einfachen Handhabungsmöglichkeit in der zahnärztlichen Praxis. Die Aufhellungserfolge sind schneller, meistens schon nach 2,5 bis 5 Minuten, sichtbar (Dostalova et al., 2004). Eine andere in-vitro Studie bewertet die Anwendung des Diodenlasers in der Bleichtherapie deutlich kritischer. Xenon-Bogenlicht-unterstütztes Bleichen führte in jener Studie zu einer intrapulpalen Temperaturerhöhung um 2 bis 4° C. Bei Anwendung des Diodenlasers mit einer Wellenlänge von 960 nm war die Temperaturerhöhung ausgeprägter, jedoch auch abhängig von der verwendeten Wattzahl und Belichtungszeit. Bei Gebrauch des 0,9 Watt Lasers für 60 Sekunden kam es zu einer durchschnittlichen Temperatur-

erhöhung in der Pulpa von 2 bis 8° C. Wurde der Diodenlaser mit 2 Watt für nur 30 Sekunden angewendet, kam es zu einem Temperaturanstieg um 4 bis 12° C. Aufgrund dieser Ergebnisse, kann ein diodenlaser-unterstütztes Bleichen nicht empfohlen werden (Wetter et al., 2004).

In einer weiteren in-vitro Studie wurden 4 verschiedene Lampen in Zusammenhang mit einer Bleichtherapie „getestet“. Dazu zählten eine Plasma-Bogen-Licht-Lampe, eine Xenon-Halogen-Licht-Lampe, eine Standard-Halogen-Licht-Lampe sowie ein Diodenlaser. Zum einen wurde in dieser Studie festgestellt, dass die Bestrahlung der Zahnhartsubstanz zu einem deutlich höheren Temperaturanstieg sowohl auf der Zahnhartsubstanzoberfläche als auch innerhalb der Pulpa führt, wenn kein Bleichmittel auf die Zahnschmelze appliziert wird. Die allgemein kritische Grenze einer intrapulpalen Temperaturerhöhung, die potenziell zu irreversiblen Schäden führen kann, liegt bei 5,5° C. Diese Grenze wurde nur bei der Verwendung des Diodenlasers überschritten. Bei allen anderen in dieser Studie verwendeten Lichtquellen blieb die Temperaturerhöhung unterhalb dieser kritischen Grenze (Sulieman et al., 2005).

Eine ähnliche Studie untersuchte ebenfalls die durch verschiedene Lichtquellen verursachte Temperaturerhöhung sowohl auf der äußeren Schmelzoberfläche als auch der inneren Dentinoberfläche. Eine Temperaturerhöhung der Pulpa ist durch die Bestrahlung nicht zu vermeiden, was wiederum die Vitalität des Zahnes beim externen Bleichen gefährdet. Laut dieser Studie kommt es zu besonders starken Temperaturerhöhungen, wenn als Lichtquelle Infrarotlicht oder Licht eines CO<sub>2</sub>-Lasers verwendet wird. Halogen-Licht führt zu einer geringeren Temperaturerhöhung und Argon-Ionen-Laser-Licht zu der geringsten. Jedoch ist anzumerken, dass der Temperaturanstieg nicht nur von der Lichtquelle abhängt, sondern auch von dem verwendeten Bleichmittel. So gibt es nach Herstellerangaben bestimmte Produkte, die speziell für die lichtassistierte Bleichtherapie entwickelt wurden (Luk et al., 2004).

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass sich das Power-Bleaching weiterentwickelt hat. Zum einen wurde das Bleichmittel in seiner Konsistenz verbessert/verdickt, sodass es sich leichter auftragen lässt. Auch durch Zusätze wie Puffer, Katalysatoren oder Farbstoffe soll die Bleichbehandlung noch effektiver gestaltet werden. Als Energiequelle stehen inzwischen diverse Lampen zur Verfügung: die blaue Halogen-Licht-Kunststoff-Aushärtungslampe, der CO<sub>2</sub>-Laser, die blaue Plasma-Bogen-Lampe, sowie der Argon-

Ionen- als auch der Diodenlaser. Damit das Bleichgel möglichst viel Energie von der Lampe oder dem Laser absorbiert, sollte es die Komplementärfarbe zu dem Licht der verwendeten Wellenlänge besitzen.

Das Ziel des Power-Bleaching ist eine äußerst effektive Zahnaufhellung. Dabei soll jedoch der Temperaturanstieg des Wasserstoffperoxids auf der Zahnoberfläche kontrolliert werden. Wenn die Expositionsdauer zum Hochintensitätslicht pro Zahn nicht länger als 10 Sekunden ist, sind keine schwerwiegenden Folgen für die Pulpa aufgrund einer potenziellen Temperaturerhöhung zu erwarten. Wichtig bei der Behandlung mit Lasern ist die Beachtung der Strahlenschutz- und Sicherheitshinweise. Der Arzt muss für die Laserbehandlung speziell ausgebildet sein. Patient, Arzt und Helferinnen müssen adäquate Schutzbrillen tragen. Zudem sollten aus Sicherheitsgründen bei der Bleichtherapie mit hochprozentigem Wasserstoffperoxid Antioxidantien, wie z. B. Vitamin E oder Aloe Vera, griffbereit liegen. Sollte der hochkonzentrierte Wirkstoff versehentlich auf die Schleimhaut geraten sein, führt dies zum Entfärben und Brennen derselben. Werden auf diese Stellen Antioxidantien appliziert, lassen die Beschwerden relativ schnell nach (Sun, 2000). Die Bleichmittel- und Lichtquellenwahl bzw. deren Kombination muss genauestens geprüft und aufeinander abgestimmt werden, um der Gefahr einer möglichen Pulpaschädigung und damit des Vitalitätsverlustes des Zahnes durch eine zu hohe Wärmeentwicklung vorzubeugen.

## **1.9 Klinische Vorgehensweise**

### **1.9.1 Untersuchung und Befundung vor dem Bleichen**

Vor Behandlungsbeginn ist es notwendig eine ausführliche Anamnese sowie einen gründlichen Oralbefund des Patienten vorzunehmen. Dadurch soll die Ursache für die bei dem Patienten vorliegende Zahnverfärbung eruiert werden, um einen daraus resultierenden individuellen Therapieplan zu erstellen. In diesem Rahmen ist auch abzuwägen, ob sich die vorhandenen Zahnverfärbungen schon durch eine professionelle Zahnreinigung beseitigen lassen.



Beim Oralbefund ist gründlich auf kariöse Läsionen zu achten. Werden solche übersehen, kann dies die Penetration des Bleichgels in die Pulpa erleichtern. Dadurch kann es zu verstärkten Überempfindlichkeitsreaktionen oder sogar zu entzündlichen Pulpenreaktionen im Anschluss an die Bleichtherapie kommen. Aus demselben Grund muss bei vorhandenen Restaurationen ein besonderes Augenmerk auf die Suffizienz der Randspalte gerichtet werden. Die Zahnhartsubstanz selber muss auch genauestens betrachtet werden. Mögliche vorhandene Schmelzsprünge, Schmelzrisse oder freiliegende Dentinbereiche müssen erkannt werden und ggf. vor der Bleichtherapie vorbehandelt werden. Des Weiteren ist ein Sensibilitätstest aller Zähne unabdingbar. Eine hierbei festgestellte Hypersensibilität der Zähne kann im Rahmen der Bleichmaßnahmen vermehrt zu postoperativen Schmerzen führen. Darüber muss der Patient im Voraus aufgeklärt werden (Attin, 1998).

Äußerst empfehlenswert ist auch die Anfertigung eines Röntgenbildes. Vor allem bei jungen Patienten kann damit die Ausdehnung des Pulpenkavums beurteilt werden. Stellt sich dieses als sehr groß dar, sollte die Behandlung erst zu einem späteren Zeitpunkt durchgeführt werden, da ansonsten verstärkte postoperative Hypersensibilitäten der Zähne wahrscheinlich sind (Wiegand und Attin, 2002).

### **1.9.2 Voraussetzungen vor Beginn einer Bleichtherapie**

Kleinste kariöse Läsionen oder Randspalte an Füllungen müssen zunächst provisorisch aber vollkommen dicht versorgt werden, um das Risiko von Nebenwirkungen zu reduzieren. Provisorisch sollten diese Defekte vorläufig versorgt werden, da erst ein bis 2 Wochen nach Abschluss der Bleichbehandlung die definitive Zahnfarbe ausgewählt werden kann.

Vor Behandlungsbeginn muss darüber hinaus eine ausführliche Patientenaufklärung stattfinden. Dabei muss der Patient über den Behandlungsplan, mögliche Alternativtherapien, anfallende Kosten, ein mögliches nicht zufrieden stellendes Ergebnis, eine potenzielle Nachdunklung der Zähne, die Gefahr externer Resorptionen sowie über mögliche Farbunterschiede zu vorhandenen Füllungen informiert werden (Lenhard und Gómez, 2002). Wichtig ist in einem solchen Gespräch herauszufinden, ob

der Patient überzogene Vorstellungen hat und ein unrealistisches Therapieergebnis erwartet. Deshalb muss er auch darüber aufgeklärt werden, dass der Erfolg des Bleichens abhängig ist von der ursprünglichen Zahnfarbe, seinem Alter, sowie seinen Ess-, Trink- und Rauchgewohnheiten. Des Weiteren beeinflusst die Hautfarbe nicht unerheblich den subjektiven Eindruck der Zahnfarbe (Peters, 2005). In verschiedenen klinischen Studien wurde festgestellt, dass sich Zähne älterer Patienten mit einem geringeren Gelbanteil im Allgemeinen schlechter aufhellen lassen als Zähne jüngerer Patienten mit einem hohen Gelbanteil (Attin et al., 2002). Außerdem lassen sich auch nicht alle Zähne gleich gut und gleich schnell aufhellen. Bei kleineren Zähnen mit einer dünnen Schmelzschicht ist ein geringerer Bleicherfolg zu beobachten, als bei großen Zähnen mit einer dicken Schmelzschicht (Sun, 2000).

Ebenso muss der Patient über die Anwendung des entsprechenden Bleichsystems sowie über mögliche zu vermeidende Anwendungsfehler genauestens informiert werden (Peters, 2005). Zusätzlich darf sowohl der klinische als auch der röntgenologische Befund keinen Hinweis auf eine vorliegende Parodontitis geben. Speziell beim internen Bleichen muss der Patient auf eine erhöhte Frakturgefahr des zu bleichenden Zahnes während der Therapie aufmerksam gemacht werden, da die Zugangskavität wegen des eingelegten Bleichmittels nur provisorisch versorgt werden kann (Attin et al., 2002).

### **1.9.3 Vorbereitende Maßnahmen vor Beginn einer Bleichtherapie**

Aus den in Kapitel 1.9.2 genannten Voraussetzungen für das Zahnbleichen ergeben sich die nun folgenden vorbereitenden Maßnahmen. Zunächst wird eine professionelle Zahnreinigung durchgeführt. Dann sollten die kariösen Läsionen (gegebenenfalls nur provisorisch) versorgt werden. Ebenso müssen Restaurationen mit Randspalten erneuert und insuffiziente Füllungen ausgetauscht werden. Mögliche freiliegende Dentin-areale müssen ebenfalls vorbehandelt werden. Abhängig von der Situation können diese Bereiche mit einem speziellen Bonding versiegelt werden oder alternativ kann auch eine chirurgische Gingivaplastik indiziert sein. Um eine Quecksilberfreisetzung aus Amalgamfüllungen während der Bleichtherapie möglichst zu minimieren, sollten solche Füllungen mit einem Lack versiegelt werden (Wiegand und Attin, 2002).

#### **1.9.4 Nachbehandlung nach erfolgreichem Zahnbleichen**

Nicht nur nach, sondern bereits während der Bleichtherapie sollten die Zähne lokal fluoridiert werden. Attin et al. (1997) zeigten, dass diese Maßnahme zur Remineralisation kleinerer struktureller Veränderungen der Schmelzoberfläche führt. Die Durchführung einer Sensibilitätsprobe auch nach erfolgter Bleichtherapie und vor allem der Vergleich dieser mit dem Ausgangsbefund sind unabdingbar. Etwa 1 bis 2 Wochen nach Therapieende können schließlich farblich insuffiziente Füllungen erneuert werden. Dieser Zeitabstand sollte aus 2 Gründen eingehalten werden: Zum einen kommt es durch Wasseraufnahme der Zähne zum Nachdunkeln dieser und zum anderen ist, wie oben bereits erwähnt, die Haftkraft der adhäsiv verankerten Kompositrestaurationen an der Schmelzoberfläche in den ersten Tagen nach der Bleichtherapie verringert (Wigand und Attin, 2002). Um einen längerfristigen Erfolg der Bleichtherapie zu erhalten, sollte der Patient auf den Genuss von stark färbenden Nahrungsmitteln, wie Rote Beete, Rotwein, Blau- und Brombeeren etc., verzichten sowie den Kaffee- und Teekonsum in dieser Zeit deutlich einschränken (Hopp und Biffar, 2004).

#### **1.10 Literaturübersicht zum Zahnbleichen**

Auch wenn es inzwischen sehr viele verschiedene Möglichkeiten, Methoden und Mittel zur Zahnaufhellung gibt, ist das Home-Bleaching mit einer individuell angefertigten Schiene nach wie vor ein empfehlenswertes System. Die Behandlung wird durch einen Zahnarzt überwacht und der Patient entsprechend aufgeklärt. Die Effektivität und Sicherheit dieser Methodik wurde in der Literatur hinreichend beschrieben (Attin, 1998). Die Vermutung, dass höher konzentriertes Bleichmittel zu einer stärkeren Bleichwirkung führt, wurde in einer Studie von Braun et al. (2007) widerlegt. Dies führte zwar initial zu einer schneller sichtbaren Aufhellung, aber nach einer Woche zum gleichen Endergebnis. Aufgrund verstärkter Hypersensibilitäten sollte daher das niedriger konzentrierte 10%ige Carbamidperoxid verwendet werden (Braun et al., 2007). Ein etwas anderes Ergebnis ergab eine klinische Studie, die die Wirksamkeit von 10%igem zu 15%igem Carbamidperoxid verglich. Kihn und Mitarbeiter (2000) fanden hierbei nach

einer einwöchigen Bleichtherapie keinen signifikanten Unterschied im Aufhellungsergebnis zwischen den mit 10%igem oder 15%igem Carbamidperoxid gebleichten Zähnen. Jedoch sowohl nach 2 Wochen Bleichtherapie, als auch bei einer erneuten Farbbestimmung 2 Wochen nach Therapieende wurde eine deutlichere Aufhellung bei den mit 15%igem Bleichgel behandelten Zähnen beobachtet. Dies zeigt auch, dass das höher konzentrierte Gel nicht zu einer schnelleren Aufhellung der Zähne führt. Es wurde kein nennenswerter Anstieg an Hypersensibilitäten bei der höherprozentigen Gruppe beobachtet, nur die Variabilität dieser stieg an (Kihn et al., 2000).

Die meisten Studien bescheinigen der Verwendung von Zahnbleichmitteln jedoch eine Unbedenklichkeit bei Beachtung und Einhaltung der Anwendungshinweise. Lediglich einige wenige Studien berichten über mögliche Ätzungen und Demineralisation des Zahnschmelzes durch 35%iges Carbamidperoxid. Des Weiteren soll das Abrasivverhalten von gebleichtem Zahnschmelz geringer gegenüber ungebleichtem sein; jedoch in keinem Fall größer als das nach dem Konsum saurer Erfrischungsgetränke (Duschner, 2002).

So wird in der Literatur immer noch kontrovers diskutiert, ob es nun zu ultrastrukturellen Veränderungen der Schmelzoberflächen durch die Bleichbehandlung kommt, oder nicht. Einige Autoren fanden bei der rasterelektronenmikroskopischen Analyse ihrer Studien keine Unterschiede in der Oberflächenstruktur von gebleichtem zu ungebleichtem Schmelz (Attin et al., 1997; Attin, 1998; Attin et al., 2001; Attin et al., 2003a; White et al., 2003; Lopes et al., 2002; Oltu und Gurgan, 2000). Andere hingegen beobachteten leichte ultrastrukturelle Veränderungen auf der mit einem Bleichmittel behandelten Schmelzoberfläche (Attin et al., 2003a; Hopp und Biffar, 2004; Bitter, 1992). Jedoch ist es schwierig, die verschiedenen vorliegenden Studien zur Oberflächenmorphologie miteinander zu vergleichen, da die Voraussetzungen und Bedingungen bei jeder Studie anders oder z. T. nicht vollständig bekannt waren. Um vergleichbare Situationen zu schaffen, sollte die Stelle des Zahnes, die behandelt wurde, genau beschrieben werden. Ebenso wichtig ist es, den genauen Zahntyp zu kennen und zu wissen, ob der Zahn bereits in der Mundhöhle durchgebrochen war oder nicht. Dabei ist auch das Alter des Zahnes von Bedeutung. All diese Variablen können zu Unterschieden in der Zahnoberflächenmorphologie führen. Fejerskov und Mitarbeiter haben die stark schwankende Variabilität der Schmelzoberfläche in Abhängigkeit von der jeweiligen

Topografie beobachtet (Spalding et al., 2003). In der Regel wurden die Schmelzproben direkt im Anschluss an die Bleichtherapie bezüglich ihrer Oberflächenmorphologie analysiert. Der Einfluss der pH-Wert-Schwankungen, wie sie in der Mundhöhle üblich sind, auf die Bleichtherapie wurde nur selten berücksichtigt. Als Demineralisationslösung wurde bei Attin und Mitarbeitern Zitronensäure und zur Remineralisation ausschließlich künstlicher Speichel verwendet (Attin et al., 2003a). Ein in der Literatur oft beschriebenes pH-Cycling-Modell nach ten Cate et al. 1982, das eine saure Lösung mit einem pH-Wert von 4,4 und eine Remineralisationslösung mit einem pH-Wert von 7,4 enthält, wurde in der vorliegenden Studie über einen Zeitraum von 10 Tagen angewendet.

### **1.11 Fragestellung/Ziel der Studie**

Aufgrund des direkten Kontaktes des Bleichgels mit der Schmelzoberfläche wurden in der Vergangenheit zahlreiche Studien veröffentlicht, die eine mögliche veränderte Mikrohärtigkeit sowie physikalische und chemische Strukturveränderungen des Zahnschmelzes untersuchten. Jedoch wurde häufig die Schmelzoberfläche noch nicht durchgeborener Weisheitszähne oder die von Rinderzähnen behandelt. Da es aber immer noch kontroverse Meinungen und Unsicherheiten über mögliche Effekte der Bleichmittel auf die Ultrastruktur der Zahnhartsubstanz gibt, ist das Ziel dieser in-vitro Studie, die Veränderungen der Schmelzoberfläche an menschlichen Frontzähnen nach Einwirkung eines Home-Bleaching-Produktes (Voco Perfect Bleach<sup>®</sup>, enthält 10 % Carbamidperoxid) rasterelektronenmikroskopisch zu analysieren. Ein besonderer Aspekt dieser Studie ist es, dass die REM-Analyse der Zahnoberfläche nicht direkt im Anschluss an die Bleichmaßnahmen durchgeführt wurde. Den Bleichmaßnahmen wurde zunächst ein 10-tägiges pH-Cycling angeschlossen, durch das herausgefunden werden sollte, ob sich gebleichter Zahnschmelz gegenüber den in der Mundhöhle vorkommenden wechselnden De- und Remineralisationsphasen anders verhält als ungebleichter. Zusätzlich sollte in dieser Studie untersucht werden, ob eine den Bleichmaßnahmen folgende Fluoridierung Einfluss auf die Oberflächenstruktur des Zahnschmelzes nimmt.

## 2. Materialien und Methodik

### 2.1 Voco Perfect Bleach®

Voco Perfect Bleach® (Voco GmbH, Cuxhaven, Germany) ist ein Bleichgel, das zum Bleichen sowohl vitaler als auch devitaler Zähne verwendet werden kann (Abb. 12).



Abb. 12: Voco Perfect Bleach® 10 % mit Applikationsspritzen

Der Wirkstoff dieses Bleichmittels ist 10%iges Carbamidperoxid. Es zählt zu den Home-Bleaching-Systemen und findet in der Regel beim externen Bleichen Anwendung. Die Applikation erfolgt mittels einer individuell hergestellten Schiene, in welche das Gel eingefüllt und nachts oder 2 bis 4 Stunden über Tag einwirken soll. Eine einmalige Behandlungssequenz reicht in der Regel aus. Jedoch können nach 6 Monaten Nachbehandlungen erfolgen, wenn ein noch deutlicherer Aufhellungseffekt der Zähne erwünscht ist oder die Zähne bereits wieder nachgedunkelt sind.

Laut Herstellerangaben ist die Verwendung dieses Gels bei vitalen Zähnen indiziert bei altersbedingten Zahnverfärbungen, bei hellen Flecken (White Spot Läsionen), bei Verfärbungen durch Medikamente (z. B. Tetracyclin), bei oberflächlichen Schmelzverfärbungen durch Fluorose sowie bei ernährungsbedingten extrinsischen Ablagerungen. Als Indikation bei devitalen Zähnen gibt der Hersteller Verfärbungen durch Füllungs-

werkstoffe und Blutungen, verursacht durch Traumen oder Devitalisation (Exstirpation), an. Das gleichzeitige externe und interne Bleichen von devitalen Zähnen ist mit Voco Perfect Bleach<sup>®</sup> ebenfalls möglich und führt zu einem schnelleren Aufhellungseffekt.

Längerfristiger Kontakt von Voco Perfect Bleach<sup>®</sup> mit der Gingiva kann zu Reizungen und Entzündungen derselben führen, weshalb der Patient darauf hingewiesen werden muss, aus der Schiene austretende Überschüsse sorgfältig zu entfernen. Der Hersteller gibt jedoch auch eine antibakterielle bzw. bakteriostatische Wirkung des Bleichgels an, wodurch Gingivaentzündungen günstig beeinflusst bzw. reduziert werden sollen. Als Nebenwirkung ist laut Herstellerangaben lediglich eine vorübergehende Überempfindlichkeit der behandelten Zähne bekannt.

Voco Perfect Bleach<sup>®</sup> ist im Set erhältlich, das aus 6 x 2,4 ml Spritzen mit Bleichgel, 1,2 ml Block Out Gel LC, 2 Tiefziehfolien, einer Aufbewahrungsdose für die Schienen, einer Farbskala, der fluoridfreien Zahnreinigungspaste sowie Informationsmaterial besteht. Nachfüllpackungen sind auch erhältlich. Der empfohlene Verkaufspreis für das Voco Perfect Bleach<sup>®</sup> Set liegt bei 74,40 € (Gebrauchsinformation Voco Perfect Bleach<sup>®</sup> für den Zahnarzt/Patienten, Voco GmbH, Cuxhaven, Germany).

## 2.2 Farbbestimmung – VITA Toothguide 3D-Master<sup>®</sup>

Häufig stellt die Bestimmung der Zahnfarbe eine Schwierigkeit dar, da sehr viele Faktoren die subjektive Farbbestimmung beeinflussen. Dazu zählen vor allem die verwendete Lichtquelle und die Umgebungsbedingungen wie zum Beispiel Wand- und Kleidungsfarbe, aber auch aufgetragener Lippenstift der Patientinnen sowie die Hautfarbe der Patienten. Daher sind zur genauen Analyse der Zahnfarbe ein systematisches Vorgehen und ein Eliminieren überflüssiger Umgebungsfaktoren unabdingbar.

Die Bestimmung der Zahnfarbe der Schmelzproben erfolgte sowohl vor dem Bleichen als auch nach jedem Bleichtag, sowie nach Fluoridierung und pH-Cycling mit dem VITA Toothguide 3D-Master<sup>®</sup> (VITA Zahnfabrik H. Rauter GmbH & Co. KG, Bad Säckingen, Germany, Abb.13).



Abb. 13: VITA Toothguide 3D-Master®

Laut Herstellerangaben ermöglicht dieses System, da es nach einem farbmtrischen Ordnungsprinzip aufgebaut ist, alle natürlichen Zahnfarben sicher und systematisch zu bestimmen. Alle 3 Dimensionen die den Farbeindruck erzeugen, wie Farbhelligkeit, Farbintensität und Farbton, werden bei der Bestimmung der Zahnfarbe mit dem VITA Toothguide 3D-Master® berücksichtigt. Damit stellt dieses System eine Neuentwicklung und nicht etwa nur eine Ergänzung der bestehenden Farbringe dar.

Außerdem deckt dieses System den gesamten natürlichen Zahnfarbrum vollständig, systematisch und äquidistant ab. Damit soll eine hohe Treffsicherheit bei der Farbbestimmung und eine eindeutige Farbkommunikation zwischen Zahnarzt und Zahn-techniker ermöglicht werden (VITA Toothguide 3D-MASTER® Anleitung; VITA Zahn-fabrik H. Rauter GmbH & Co. KG, Bad Säckingen, Germany).

Die Farbbestimmung mit diesem System entspricht zwar nicht der natürlichen, intuitiven Farbbestimmung, verringert jedoch durch eine systematische Vorgehensweise die Fehlerquote extrem. Wie zu Beginn dieses Abschnittes schon angesprochen, sollten uneinheitliche Belichtungsverhältnisse, Sonneneinstrahlung oder Schattenbildung durch Fensterrollos, Signalfarben im Hintergrund wie Lippenstift, farbige Kleidung, Wände etc. ausgeschaltet werden, da das menschliche Auge sich durch diese Einflüsse extrem täuschen lässt.

Intuitiv bestimmt der Mensch zunächst immer den reinen Farbton und erst danach die Helligkeit und die Intensität. Diese Reihenfolge ist jedoch bei der Zahnfarbbestimmung sehr fehleranfällig, da sich die Farbtöne der Zähne auf einen relativ kleinen unbunten Bereich beschränken. Um mehr Sicherheit in der Farbbestimmung zu bekommen, sollte



die erste Bestimmungsstufe daher eine recht große Spannweite haben. Auf den Zahnfarbraum bezogen, ist dies die Helligkeit (Abb. 14 und 15). Erst im Anschluss daran sollten die Intensität und zuletzt der Farbton des Zahnes bestimmt werden. Durch die Einhaltung dieser Reihenfolge in der Farbbestimmung wird die Fehlerquote deutlich verringert. Diese wissenschaftliche Methodik war Grundlage bei der Entwicklung des VITA Toothguide 3D-Master®. Nach Ditzinger ist es durch die klare Strukturiertheit unübertroffen in seinen Ergebnissen und erleichtert die Kommunikation zwischen Zahnarzt und Zahntechniker (2004).

Bei der Farbbestimmung in dieser Studie wurde darauf geachtet, dass sie unter natürlichem Tageslicht und vor einem schwarzen Hintergrund erfolgte. Dabei wurde die Auswahl für eine bestimmte Gruppe jeweils zügig getroffen, um ein Ermüden des Auges bei zu langer Betrachtung des Objektes zu vermeiden.

Wie bereits erwähnt, ermittelt man zunächst die Helligkeit der Schmelzproben mit Hilfe der Helligkeitsstufen 1 bis 5 des Farbsystems. Dabei sollte man sich bei der Auswahl der Gruppe von dunkel (5) nach hell (1) vorarbeiten (Abb. 15). Im Gegensatz zur Farbabbildung werden in dieser Schwarz-Weiß-Abbildung (Abb. 14) des Systems die Helligkeitsunterschiede zwischen den Stufen 1 bis 5 deutlicher erkennbar.



Abb. 14: Schwarz-Weiß-Abbildung des VITA Toothguide 3D-Master®, wodurch die Helligkeitsunterschiede zwischen den einzelnen Zahnfarbmustern verdeutlicht werden.

Die Auswahl für eine Helligkeitsgruppe wird anhand der 5 oberen mittleren blassen Farbmustern (1M1, 2M1, 3M1, 4M1, 5M1), die in Abb. 15 hervorgehoben sind, vorgenommen. Der mittlere Farbfächer „M“, dessen Helligkeit dem zu bestimmenden Zahn am nächsten kommt, wird aus dem System herausgezogen. Damit ist die Helligkeit durch eine der Stufen 1 bis 5 eindeutig definiert.

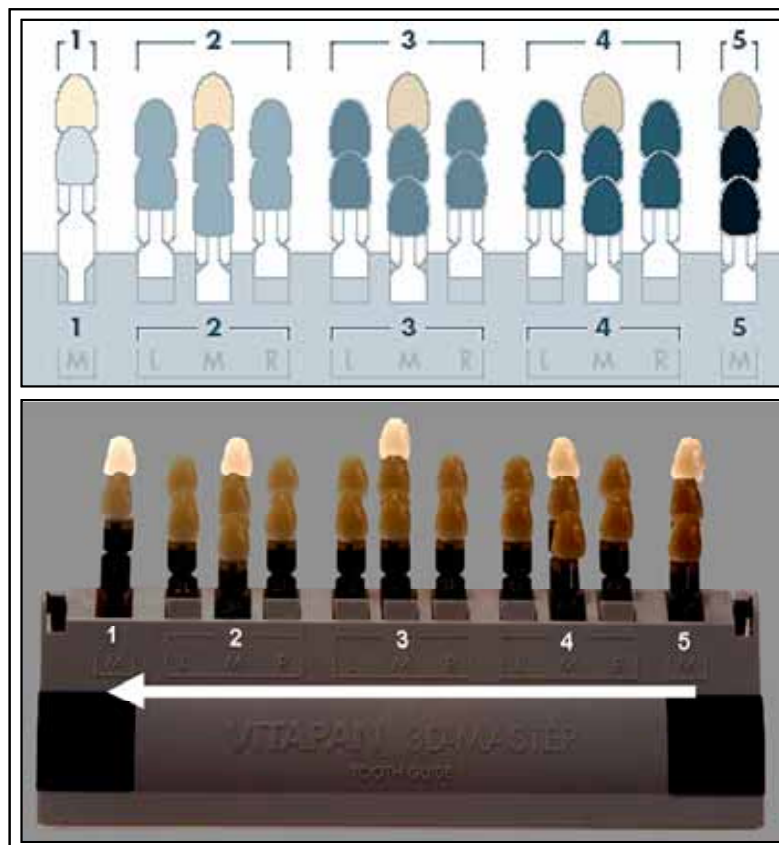


Abb. 15: Zur Bestimmung der Farbhelligkeit sind die oberen mittleren Farbfächer, die in dieser Abbildung hervorgehoben sind, einer jeden Helligkeitsstufe 1-5 von Bedeutung. Bei der Auswahl der Helligkeit tastet man sich von den dunklen Gruppen ausgehend nach hell vorwärts - deshalb zeigt der Pfeil nach links.

Im zweiten Schritt wählt man die Farbintensität blass (1), mittel (2) oder satt (3) aus. Der mittlere Farbfächer „M“ der zuvor bestimmten Helligkeitsgruppe wird herausgenommen. Dann werden die 3 Musterzähne dieses Fächers mit dem zu bestimmenden Zahn verglichen. Zügig entscheidet man sich für diejenige Intensität (XM1, XM2, XM3), die dem zu vergleichenden Zahnstück am nächsten kommt (Abb. 16).

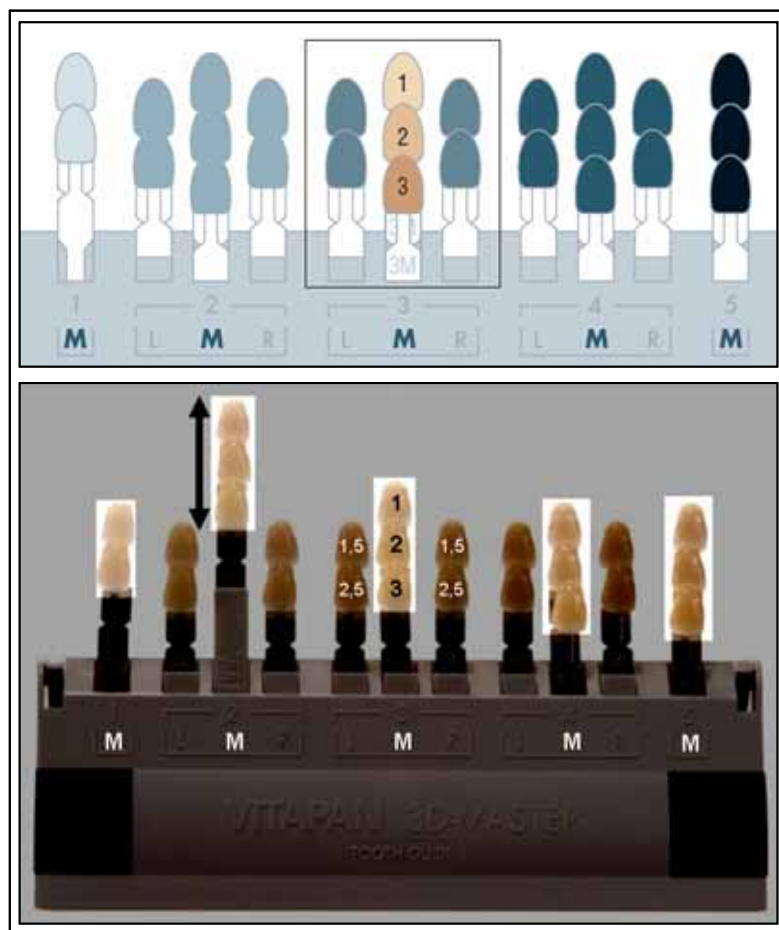


Abb. 16: Zur Bestimmung der Farbintensität wird der mittlere Farbfächer, der zuvor bestimmten Helligkeitsstufe aus dem System entfernt und die passende Intensität der 3 Farbmuster (1 = blass, 2 = mittel, 3 = satt) dem entsprechenden Zahn zugeordnet.

An dieser Stelle sei noch zu erwähnen, dass dieses System nicht nur die 3 Intensitätsstufen der mittleren Farbfächerreihe 1, 2 und 3 bietet. Es gibt auch 2 Zwischenstufen 1,5 und 2,5, die allerdings nicht im mittleren Farbfächer enthalten sind, sondern nur in Verbindung mit einem rötlicheren oder gelblicheren Farbton (Abb. 16 und 17).

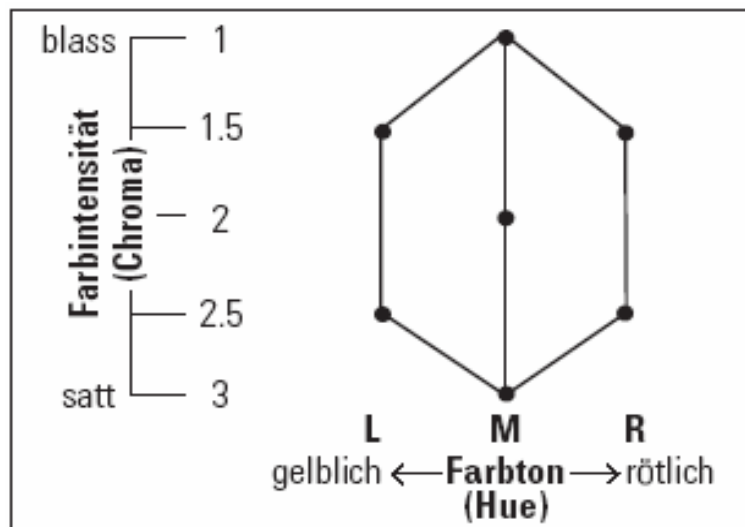


Abb. 17: Dieses Schema soll veranschaulichen, dass der VITA Toothguide 3D-Master<sup>®</sup> in der mittleren Farbtongruppe 3 verschiedene Intensitätsmöglichkeiten von 1 (blass) bis 3 (satt) bietet. Zwischenwerte der Intensität (1,5 und 2,5) ermöglicht das System in der gelblichen oder rötlichen Farbtongruppe.

Abschließend wird im letzten Schritt der Farbton der Schmelzproben überprüft. Ist er rötlicher als der mittlere Farbfächer, sollte man ein „R“-Farbmuster wählen; ist er gelblicher, ein „L“-Farbmuster. Dabei kann dann zusätzlich in Abhängigkeit von der Intensität des Zahnes jeweils ein blasserer (XL1,5 oder XR1,5) oder ein satterer (XL2,5 oder XR2,5) Farbton berücksichtigt werden (Abb. 17 und 18).

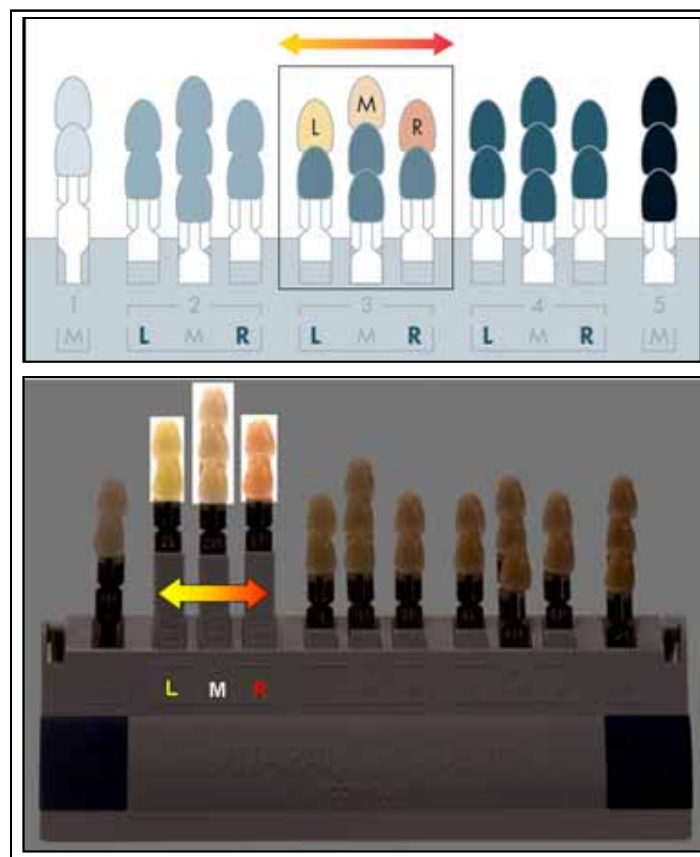


Abb. 18: Die Helligkeitsstufen 2, 3 und 4 bieten auch die Option auf eine Veränderung des Farbtons in gelblicher oder rötlicher Richtung. Jedoch verändert sich dadurch auch die Intensität um eine halbe Stufe.

Durch diese 3 bestimmten Parameter ist die Zahnfarbe nun eindeutig definiert und heißt dann z. B. 3L1. Dies bedeutet, dass der Zahn der Helligkeitsstufe 3 entspricht, einen gelblichen Farbton hat und eine blasse Intensität der Stufe 1 besitzt.

Sollten die vorgegebenen Farbmuster die Bestimmung einer speziellen Zahnfarbe nicht decken, können mit Hilfe dieses Systems auch Zwischenwerte beschrieben werden. Durch die äquidistante Anordnung der Zahnfarben in diesem System kann dann im Labor die gewünschte Farbe als Mischfarbe der Nachbarfarben im Verhältnis 1 : 1 reproduziert werden. Liegt die Helligkeit eines Zahnes genau zwischen den Stufen 2 und 3, kann eine solche Farbe dann z. B. mit 2,5M1 benannt werden. Ebenso könnte ein Zwischenwert für die Farbintensität auch in der mittleren Farbtongruppe z. B. 2M1,5 lauten. Ein Zwischenwert zweier Farbtöne kann z. B. durch die Bezeichnung 3M2/3L2,5

beschrieben werden (Aus: VITA Toothguide 3D-MASTER® Anleitung – Beispiel; VITA Zahnfabrik H. Rauter GmbH & Co. KG, Bad Säckingen, Germany).

## **2.3 Versuchsplanung**

### **2.3.1 Versuchsdesign**

Zunächst wurden 20 frisch extrahierte menschliche Frontzähne gesammelt. Diese wurden sofort nach der Extraktion bis zum Versuchsbeginn in Kochsalzlösung mit Natriumazidzusatz (0,01 ‰) aufbewahrt, damit sie nicht austrockneten. Aus diesen Zähnen wurden dann standardisierte Schmelzproben hergestellt (siehe 2.3.2). Nach deren Reinigung wurden die Schmelzproben für die Versuche in nach Sissons und Mitarbeitern (1991) künstlich hergestelltem Speichel gelagert. Die Applikation des Bleichgels auf jeweils 2 der 4 Felder der Proben erfolgte entsprechend der Anwendungsempfehlung des Herstellers. Allerdings wurde keine Folie zur Aufnahme des Bleichgels, wie sie bei der klinischen Anwendung notwendig ist, angefertigt. Das Bleichmittel wurde direkt auf die Schmelzproben appliziert. Danach wurden jeweils 2 Felder der Schmelzproben fluoridiert. Anschließend erfolgte ein 10-tägiges pH-Cycling der Proben.

Die Farbe der Schmelzproben wurde zu Beginn, d. h. nach der Zahnreinigung, nach jedem Bleichtag, nach Fluoridierung sowie nach dem pH-Cycling bestimmt. Mit Hilfe eines REM wurde dann die Oberfläche der Schmelzproben ultrastrukturell analysiert. Die statistische Auswertung dieser erfolgte mit dem Chi-Quadrat-Test. Tabelle 4 gibt einen Überblick über den Versuchsablauf.

<b>Zeitraaster</b>	<b>Schmelzproben</b>	<b>Material</b>
Vorbereitung	Sammeln menschlicher Frontzähne und Herstellung der Schmelzproben	Lagerung in Kochsalzlösung mit Natriumazid (0,01 ‰)
	Reinigung der 3 x 3 mm großen Schmelzproben	Fluoridfreie Klint <sup>®</sup> -Reinigungspaste
	Lagerung der gereinigten Schmelzproben	Künstlicher Speichel (pH 6,72)
Tag 0: „Baseline“	Farbbestimmung der Ausgangsfarbe der Schmelzproben	VITA Toothguide 3D-Master <sup>®</sup>
Tag 1: 2 Stunden	Bleichen der Felder 3 und 4 einer Schmelzprobe bei 37°C	Voco Perfect Bleach <sup>®</sup> 10 % (pH 6,0)
Tag 1:	Farbbestimmung nach 1. Bleichtag	VITA Toothguide 3D-Master <sup>®</sup>
Tag 1: 22 Stunden	Lagerung der Schmelzproben im Kühlschrank	Künstlicher Speichel (pH 6,72)
Tag 2: 2 Stunden	Bleichen der Felder 3 und 4 einer Schmelzprobe bei 37°C	Voco Perfect Bleach <sup>®</sup> 10 % (pH 6,0)
Tag 2:	Farbbestimmung nach 2. Bleichtag	VITA Toothguide 3D-Master <sup>®</sup>
Tag 2: 22 Stunden	Lagerung der Schmelzproben im Kühlschrank	Künstlicher Speichel (pH 6,72)
Tag 3: 2 Stunden	Bleichen der Felder 3 und 4 einer Schmelzprobe bei 37°C	Voco Perfect Bleach <sup>®</sup> 10 % (pH 6,0)
Tag 3:	Farbbestimmung nach 3. Bleichtag	VITA Toothguide 3D-Master <sup>®</sup>
Tag 3: 22 Stunden	Lagerung der Schmelzproben im Kühlschrank	Künstlicher Speichel (pH 6,72)
Tag 4: 2 Minuten	Fluoridierung bei 37°C	elmex <sup>®</sup> fluid (pH 3,9)
Tag 4:	Farbbestimmung nach Fluoridierung	VITA Toothguide 3D-Master <sup>®</sup>
Tag 4: 23,5 Stunden	Lagerung der Schmelzproben im Kühlschrank	Künstlicher Speichel (pH 6,72)
Tag 5-14: 6 Stunden	pH-Cycling	Demineralisationslösung (pH 4,4)
Tag 5-14: ca. 18 Stunden	pH-Cycling	Remineralisationslösung (pH 7,4)
Tag 15:	Farbbestimmung nach pH-Cycling	VITA Toothguide 3D-Master <sup>®</sup>
Anschließend	Oberflächenanalyse der Schmelzproben/ Statistische Auswertung	Rasterelektronenmikroskop/ Chi-Quadrat-Test

Tabelle 4: Übersicht über den Versuchsablauf dieser Studie

### 2.3.2 Auswahl und Vorbereitung der Schmelzproben

Für die Versuche wurden ausschließlich frisch extrahierte menschliche Frontzähne verwendet, die sofort nach der Extraktion in 0,9%iger NaCl-Lösung gemischt mit 0,01 % Natriumazid gelagert wurden. Dadurch konnte ein physiologisches Milieu für die Zähne beibehalten sowie ein Austrocknen der Zähne und auch gleichzeitig eine Bakterianlagerung verhindert werden.

Es wurde darauf geachtet, dass die Schmelzproben ausschließlich aus der Mitte der Vestibularfläche einer Zahnkrone gewonnen wurden, da die Struktur des Zahnschmelzes in den verschiedenen Kronenbereichen variiert. Mit einer diamantierten Trennscheibe wurde unter Verwendung von Kochsalzlösung als Kühlung ein ca. 3 x 3 mm großes und ca. 2 mm dickes Schmelzblöckchen pro Zahn ausgeschnitten. Dieses wurde noch einmal in 4 etwa gleichgroße Felder durch Sägeschnitte in der Oberfläche unterteilt. Die 4 verschiedenen Felder der Schmelzproben dienten jeweils für 4 verschiedene Versuche (siehe Tabelle 5):

- Feld 1 blieb unbehandelt und diente somit als Referenzoberfläche.
- Feld 2 wurde ausschließlich einmal fluoridiert.
- Feld 3 wurde gebleicht und fluoridiert.
- Feld 4 wurde ausschließlich mit dem Bleichgel behandelt.

<b>Feld 1</b> Unbehandelte Fläche	<b>Feld 2</b> Fluoridierte Fläche
<b>Feld 4</b> Gebileichte Fläche	<b>Feld 3</b> Gebileichte und fluoridierte Fläche

Tabelle 5: Versuchsaufteilung der Schmelzproben und die damit verbundenen unterschiedlichen Behandlungen der Felder 1 – 4



Zur besseren Handhabung der kleinen Schmelzproben wurden diese auf sechseckige Kunststoffblöckchen, die aus Arabesk® Flow (Voco GmbH, Cuxhaven, Germany) der Farbe A3 hergestellt wurden, anpolymerisiert. Zur Orientierung wurde jeweils die Ecke der Schmelzprobe markiert, die zu der ursprünglichen mesialen Schneidekante wies. Auf dem Kunststoff wurde mit einer kleinen „1“ in einer Ecke jeweils das erste Feld festgelegt. Die Felder 2, 3 und 4 folgten dem Uhrzeigersinn. Bei der nächsten Probe, entsprach die Lage des Feldes 1 der ursprünglichen topografischen Lage des Feldes 2 der ersten Probe. Folglich wurde durch dieses Verfahren ein Rotieren der Felder 1 - 4 sichergestellt. Das bedeutet, dass sich nur jedes vierte Feld 1 in Richtung der ursprünglichen mesialen Schneidekantenecke befindet, wodurch die topografisch bedingte variable Schmelzstruktur bei diesen Versuchen berücksichtigt wurde (Abb. 19).

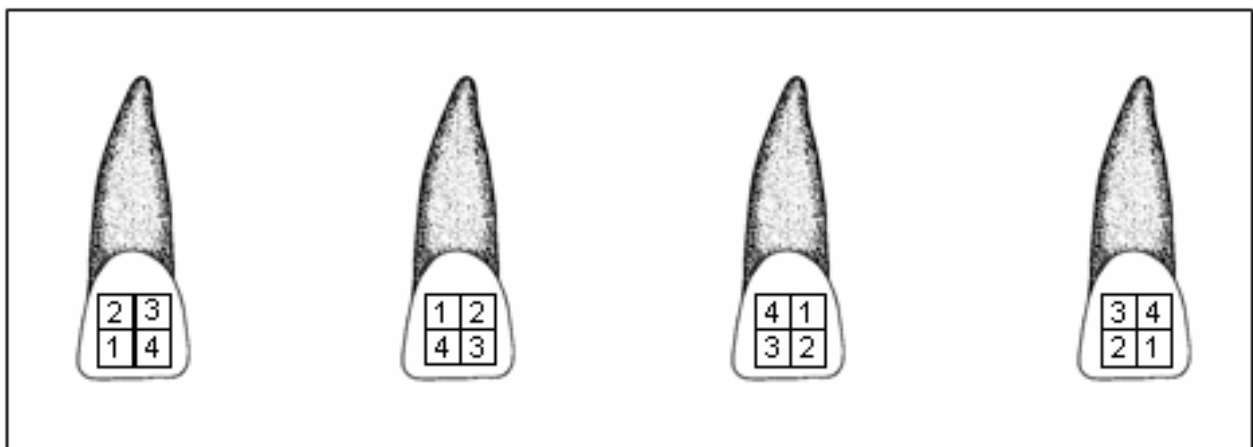


Abb. 19: Rotation der 4 verschiedenen Versuchsfelder der Schmelzproben

Abb. 20 zeigt eine auf dem Kunststoffblöckchen anpolymerisierte Schmelzprobe. Die Position der Zahl „1“ (oben links zu erkennen) kennzeichnet die Lage des Feldes 1. Von dort folgen im Uhrzeigersinn die Felder 2, 3 und 4.

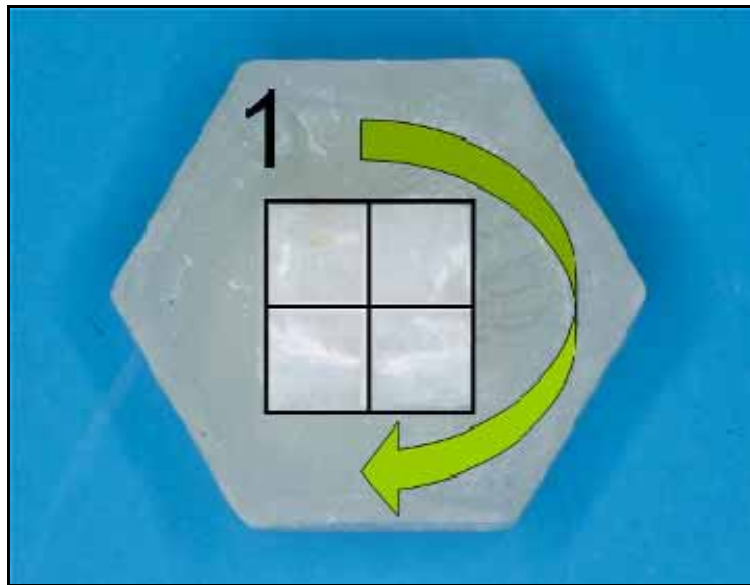


Abb. 20: Auf Kunststoffblöckchen anpolymerisierte und gekennzeichnete Schmelzprobe

### 2.3.3 Vorbehandlung und Lagerungsmedium

Auf einer Ziegenhaarbürste (Hawe Miniature Cleaning and Polishing Brushes<sup>®</sup>, KerrHawe, Scafati, Italy), die in ein grünes Winkelstück eingespannt wurde, wurde die fluoridfreie Klint<sup>®</sup>-Reinigungspaste (Voco GmbH, Cuxhaven, Germany) aufgetragen. Diese Paste ist in dem Voco Perfect Bleach<sup>®</sup> Set enthalten. Nunmehr wurden die Schmelzproben niedertourig mit 8000 Umdrehungen pro Minute gereinigt. Zur weiteren Lagerung wurden die gesäuberten Schmelzproben zunächst erneut in frische NaCl-Lösung, gemischt mit Natriumazid, gelegt.

Um das Mundhöhlenmilieu nachzuahmen und eine Pellikelstruktur auf der Schmelzoberfläche zu erzeugen, wurden die Schmelzblöckchen anschließend in künstlich hergestelltem Speichel nach Sissons et al. (1991), der dem Medium nach Glenister und Mitarbeitern zu Grunde liegt, gelagert. Dieser künstlich hergestellte Speichel wurde 2 mal filtriert (Gebrauchsfertige Filtereinheit, Schleicher & Schuell Micro Science GmbH, Dassel, Germany), davon beim zweiten Mal steril. Der pH-Wert dieses künstlichen Speichels betrug 6,72. Eine Zusammensetzung des künstlichen Speichels ist in Tabelle 5 aufgelistet.

Bestandteil	Konzentration	Gramm [g] pro 100 ml Aqua dest.
Trypton	0,5 %	0,5
Proteose Pepton	1,0 %	1
Hefeextrakt	0,5 %	0,5
Kaliumchlorid	0,25 %	0,25
Schweinemagenmuzin	0,25 %	0,25
Hemin	5 mg/l	0,0005
Menadion	1 mg/l	0,0001
Harnstoff	1 mmol/l	0,006
Arginin	1 mmol/l	0,02107

Tabelle 5: Zusammensetzung des künstlichen Speichels nach Sissons et al. (1991)

Eine Schmelzprobe lag vor Bleichbeginn für einen Tag in jeweils 0,5 ml künstlichem Speichel in einer sterilen Kammer (Zellkultur Multiwellplatte mit Abdeckplatte - steril, Greiner Bio-One GmbH, Frickenhausen, Germany). Damit war die Schmelzprobe von allen Seiten ausreichend mit Speichel umgeben. Abb. 21 zeigt die Schmelzproben in jeweils einer einzelnen Kammer der Multiwellplatte.

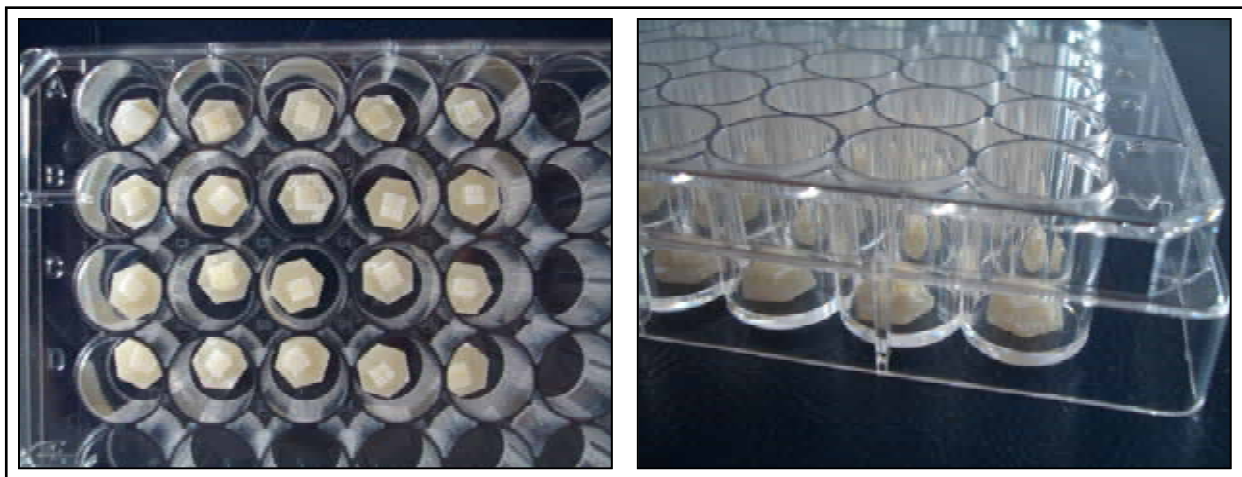


Abb. 21: Übersicht über die verschiedenen Schmelzproben jeweils in einer sterilen Kammer der Multiwellplatte

### 2.3.4 Bleichvorgang

Laut Anwendungsempfehlung des Herstellers ist eine Applikation des Bleichgels mit einer Einwirkzeit von 2 bis 4 Stunden, bzw. über Nacht, pro Sitzung ausreichend. Zur Beurteilung der Farbaufhellung wurde in diesem Versuchsaufbau jeweils eine 2-stündige Einwirkzeit im 24h-Abstand an 3 aufeinander folgenden Tagen festgelegt. Mit einer Gesamtwirkdauer des Bleichmittels von 6 Stunden wurde ein Mittelwert aus den Empfehlungen des Herstellers zur klinischen Anwendung dieses Produktes gewählt.

In jeder Kammer des sterilen Kastens lagen Wattepellets (Wattekügelchen Größe 00, Coltène Whaledent, Langenau, Germany), die mit jeweils 2 Tropfen Kochsalzlösung benetzt wurden und dadurch eine feuchte Umgebung gewährleisteten. So wurde das Mundhöhlenmilieu nachgeahmt. Um auch die Körpertemperatur der Mundhöhle in dieser in-vitro Studie nachzustellen, wurden die mit etwa einer 1 mm dicken Schicht Bleichmittel beschickten Schmelzproben (wie auch bei Attin et al., 2003a) für die Dauer der Einwirkzeit bei 37° C im Brutschrank (Memmert GmbH & Co.KG, Schwabach, Germany) aufbewahrt. Die Multiwellplatte wurde mit der zugehörigen Abdeckplatte verschlossen, so dass die Feuchtigkeit nicht entweichen konnte.

Die bis dato in künstlichem Speichel gelagerten Schmelzproben wurden aus diesem entnommen und zur Aufnahme des Bleichmittels vorbereitet. Mit Wattepellets wurde die Oberfläche der Proben vorsichtig getrocknet. Da Voco Perfect Bleach<sup>®</sup> in Gelform vorliegt und daher auch im Kühlschrank gelagert werden muss, würde es während der Einwirkzeit im Brutschrank durch die Temperaturerhöhung zu einer Konsistenzveränderung des Gels im Sinne einer Verflüssigung kommen. Dadurch könnte nicht mehr sichergestellt werden, dass das Bleichmittel, wie in dieser Studie vorgesehen, ausschließlich auf den Feldern 3 und 4 wirkt. Deshalb wurden zuvor die Felder 1 und 2 mit dünnfließendem Silikon (President<sup>®</sup> Plus, Type 3, Coltène Whaledent, Altstätten, Switzerland) beschickt, um sie so vor unerwünschtem Kontakt mit dem Bleichmittel zu schützen. Dass diese Methode zum Schutz der Felder 1 und 2 und zu keiner Veränderung der Schmelzoberfläche führt, hat Kordes in einer Studie nachgewiesen (2007). Auf die Felder 3 und 4 wurde das Bleichgel dann in einer etwa 1 mm dicken Schicht appliziert.

Nach der zweistündigen Einwirkzeit wurden die Gelreste mit Wattepellets vorsichtig abgetupft und die Schmelzoberfläche erneut mit der Klint-Reinigungspaste und einem kleinen, weichen Pinselchen (Pinseleinsätze schwarz, Pluradent AG & Co KG, Offenbach, Germany) gereinigt. Abschließend wurde jede Probe mit 2 ml bidestilliertem Wasser abgespült. Die Farbe der Felder 3 und 4 wurde nun mit dem VITA Toothguide 3D-MASTER<sup>®</sup> bestimmt. Zur weiteren Lagerung wurden die Schmelzblöckchen in einen neuen sterilen Kasten mit frischem steril filtriertem künstlichem Speichel (wiederum 0,5 ml pro Probe) gelegt. Im Kühlschrank wurden sie nun für etwa 22 Stunden bis zum erneuten Bleichvorgang am nächsten Tag aufbewahrt.

Dieser dargestellte Bleichzyklus sowie die anschließende Remineralisationszeit im künstlichen Speichel wurden noch 2 weitere Male an den darauf folgenden Tagen wiederholt. Auch die Farbe der gebleichten Schmelzproben wurde nach jedem weiteren Bleichvorgang erneut bestimmt.

### 2.3.5 Fluoridierung

Nach Beendigung des Bleichvorganges am dritten Versuchstag, wurde das Silikon vorsichtig von den Feldern 1 und 2 entfernt und neues auf die Felder 1 und 4 vor der Fluoridierung appliziert. Dadurch sollte, wie zuvor während des Bleichprozesses, sichergestellt werden, dass die Fluoridierung mit elmex<sup>®</sup> fluid (GABA GmbH, Lörrach, Germany) ausschließlich auf den Feldern 2 und 3 wirkte. elmex<sup>®</sup> fluid hat eine Fluoridkonzentration von insgesamt 1 %, davon 0,925 % Aminfluorid Olafur und 0,075 % Aminfluorid Dectafluor. Der pH-Wert dieser Lösung liegt laut Herstellerangaben bei 3,9.

Diese 1%ige Fluoridlösung wurde mit kleinen beflockten Applikationsansätzen (Mini-Appli-Tips rot, Pluradent AG & Co KG, Offenbach, Germany) auf die Schmelzoberfläche aufgetragen. Die fluoridierten Schmelzproben wurden erneut in die feuchte Kammer eines sterilen Kastens gelegt. Im Brutschrank bei 37° C wirkte die Fluoridlösung für 2 Minuten ein. Die Überstände wurden anschließend mit 2 ml bidestilliertem Wasser pro Schmelzprobe abgespült. Das Silikon konnte nun wieder von den Feldern 1 und 4

sorgsam entfernt werden. Abschließend wurden erneut die Farben der Felder 3 und 4 mit dem VITA Toothguide 3D-MASTER® bestimmt.

### 2.3.6 pH-Cycling

Bis zu Beginn des pH-Cyclings am darauf folgenden Tag, d. h. nach etwa 24 Stunden, wurden die Schmelzproben wieder in frischem künstlichem Speichel im Kühlschrank gelagert. Zum pH-Cycling wurden 2 Lösungen angemischt, deren Zusammensetzungen der nachfolgenden Tabelle 6 zu entnehmen sind (ten Cate et. al., 1982). Dieses pH-Cycling soll die verschiedenen De- und Remineralisationsphasen, denen die Zähne in der Mundhöhle täglich ausgesetzt sind, nachahmen. Lösung I wirkt aufgrund des niedrigen pH-Wertes demineralisierend auf den Zahnschmelz. Lösung II soll hingegen die Remineralisation desselben fördern.

<b>Lösung I</b>	100 ml Stammlösung A: 0,075 M Natrium-Azetat + 220 ml Stammlösung B: 0,075 M Essigsäure → Azetat-Puffer mit pH 4,3 + 0,094 g $\text{CaCl}_2 \times 2 \text{H}_2\text{O}$ + 0,2432 g $\text{Na}_3\text{PO}_4$ → <b>pH: 4,4</b>
<b>Lösung II</b>	1,07 g Kakodylatsäure ad 250 ml Aqua dest. → Kakodylatpuffer auf pH 7,0 mit HCl titriert + 0,055 g $\text{CaCl}_2 \times 2\text{H}_2\text{O}$ + 0,0855 g $\text{Na}_3\text{PO}_4$ + 2,796 g KCl → <b>pH: 7,4</b>

Tabelle 6: Zusammensetzung der Lösungen I und II zum pH-Cycling nach ten Cate et al., 1982

Jede Probe lag in 0,5 ml der Flüssigkeit in einer sterilen Kammer. Lösung I, ein Azetat-Puffer mit Zusätzen, ist stark sauer und wirkte mit einem pH-Wert von 4,4 für 6 Stunden

bei 37° C im Brutschrank auf die Schmelzproben ein. Nach 6 Stunden wurden die Schmelzblöckchen mit jeweils etwa 2 ml bidestilliertem Wasser abgespült.

Danach wurde jede Probe in eine neue Kammer mit jeweils 0,5 ml der Lösung II einer neuen sterilen Multiwellplatte gelegt. Bei dieser Lösung II handelt es sich um einen Kakodylat-Puffer mit Zusätzen, bei dem ein neutraler pH-Wert von 7,4 gemessen wurde. Für ca. 17,5 Stunden verblieben nun die Schmelzproben bei 37° C im Brutschrank in dieser Flüssigkeit.

Anschließend wurden die Proben wiederholt mit 2 ml bidestilliertem Wasser abgespült und in eine neue Kammer gelegt. Jetzt wirkte wiederum die Lösung I für 6 Stunden auf die Proben ein, anschließend erneut für etwa 17,5 Stunden die Lösung II. Dieser Zyklus wurde in diesem Rahmen weiter fortgesetzt und fand insgesamt über einen Zeitraum von 10 Tagen statt. Jedes Mal, wenn die Proben einem neuen pH-Wert ausgesetzt wurden, wurde eine frische Lösung verwendet. Dadurch wird sowohl das Aufbrauchen der Ionen einer Lösung als auch eine Sättigung der Lösungen durch herausgelöste Mineralien aus der Zahnhartsubstanz, die in der Lösung schwimmen, vermieden (ten Cate und Duijsters, 1982).

Nach Abschluss des 10-tägigen pH-Cyclings fand erneut eine Farbbestimmung der behandelten Schmelzproben mit dem VITA Toothguide 3D-MASTER® statt.

### **2.3.7 REM-Analyse**

Zur Beurteilung möglicher Veränderungen der Schmelzoberfläche erfolgte abschließend eine Untersuchung derselben mit dem REM, um ultrastrukturelle Veränderungen erkennen zu können.

Als Vorbereitung vor der eigentlichen Rasterelektronenmikroskopie, wurden 10 Schmelzproben unter der sterilen Werkbank mit Abzug (Lamin Air, Heraeus Holding GmbH, Hanau, Germany) für 24 Stunden luftgetrocknet und dann in einer neuen sterilen Multiwellplatte mit Abdeckung staubfrei aufbewahrt. Danach wurden jeweils 4 Schmelzproben auf einen Probenhalter (Plano GmbH, Wetzlar, Germany) geklebt.

Diese wurden dann vor der Beobachtung mit dem REM mit einer Platin-Gold-Legierung für 45 Sekunden unter Vakuum mit dem Sputtergerät Scancoat Six (BOC EDWARDS

GmbH, Kirchheim, Germany) besputtert. Dadurch entstand auf der Oberfläche der Schmelzproben eine elektrisch leitfähige Dünnschicht (Abb .22).

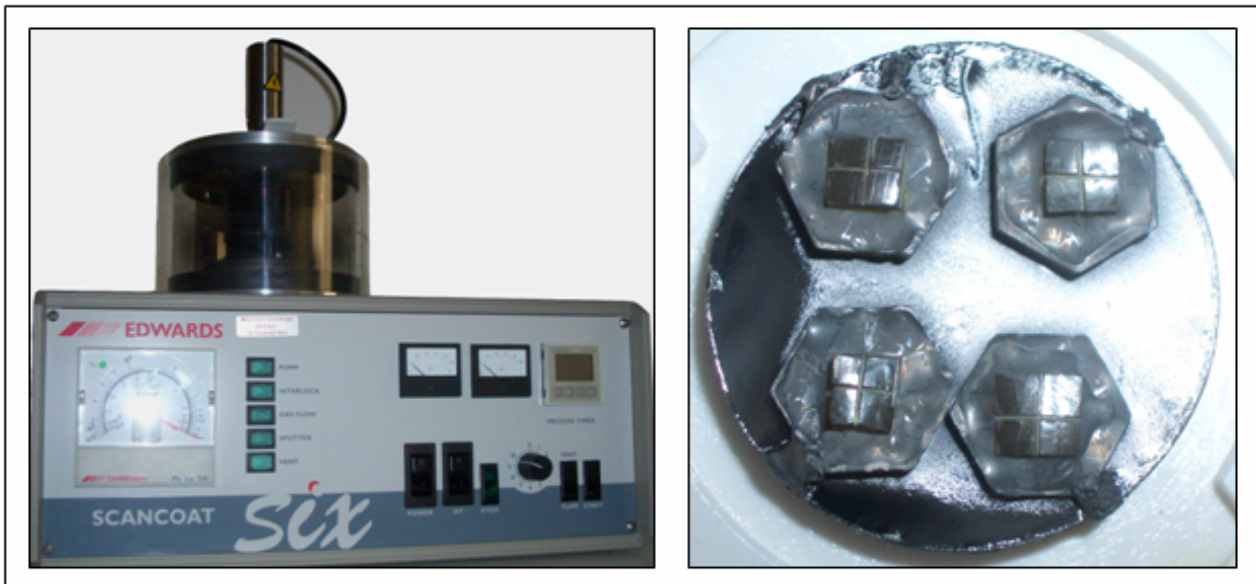


Abb. 22: Auf der linken Abbildung ist das Sputtergerät Scancoat Six gezeigt. Das rechte Bild zeigt 4 bereits besputterte Schmelzproben auf einem REM-Teller.

Die Betrachtung und Analyse der Schmelzproben erfolgte unter Hochvakuum mit Hilfe des Rasterelektronenmikroskops XL 30 (Scanning Electron Microscope, Philips Electronics N.V., Eindhoven, The Netherlands, Abb. 23).



Abb. 23: Beide Abbildungen zeigen den Arbeitsplatz und das REM mit den beiden Bildschirmen.



Zunächst wurde eine Übersichtsaufnahme in 40-facher Vergrößerung von jeder Schmelzprobe angefertigt (Abb. 24). Die durch die Sägeschnitte in der Oberfläche der Schmelzprobe entstandenen 4 Felder für die verschiedenen Versuche, sind deutlich zu erkennen.

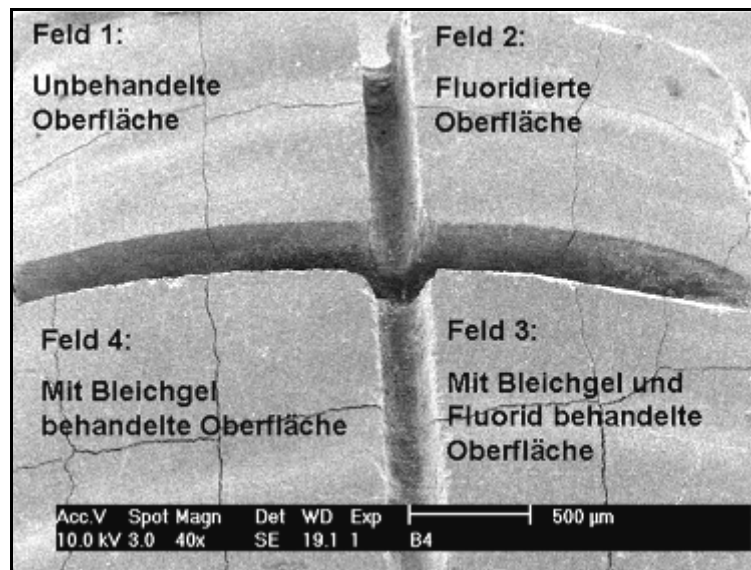


Abb. 24: REM-Übersichtsaufnahme einer Schmelzprobe; 40-fache Vergrößerung

Dann erfolgten Einzelaufnahmen von repräsentativen Stellen zur Dokumentation und Auswertung von jedem der 4 Felder einer Probe in folgenden Vergrößerungsstufen: 200-fach, 2000-fach, 4000-fach, 6000-fach und 12000-fach. Dabei stellte sich heraus, dass die Struktur der Schmelzoberfläche bei 2000-facher Vergrößerung am besten darzustellen ist. In Abb. 25 sind die Felder 1 - 4 einer Schmelzprobe in 2000-facher Vergrößerung gezeigt.

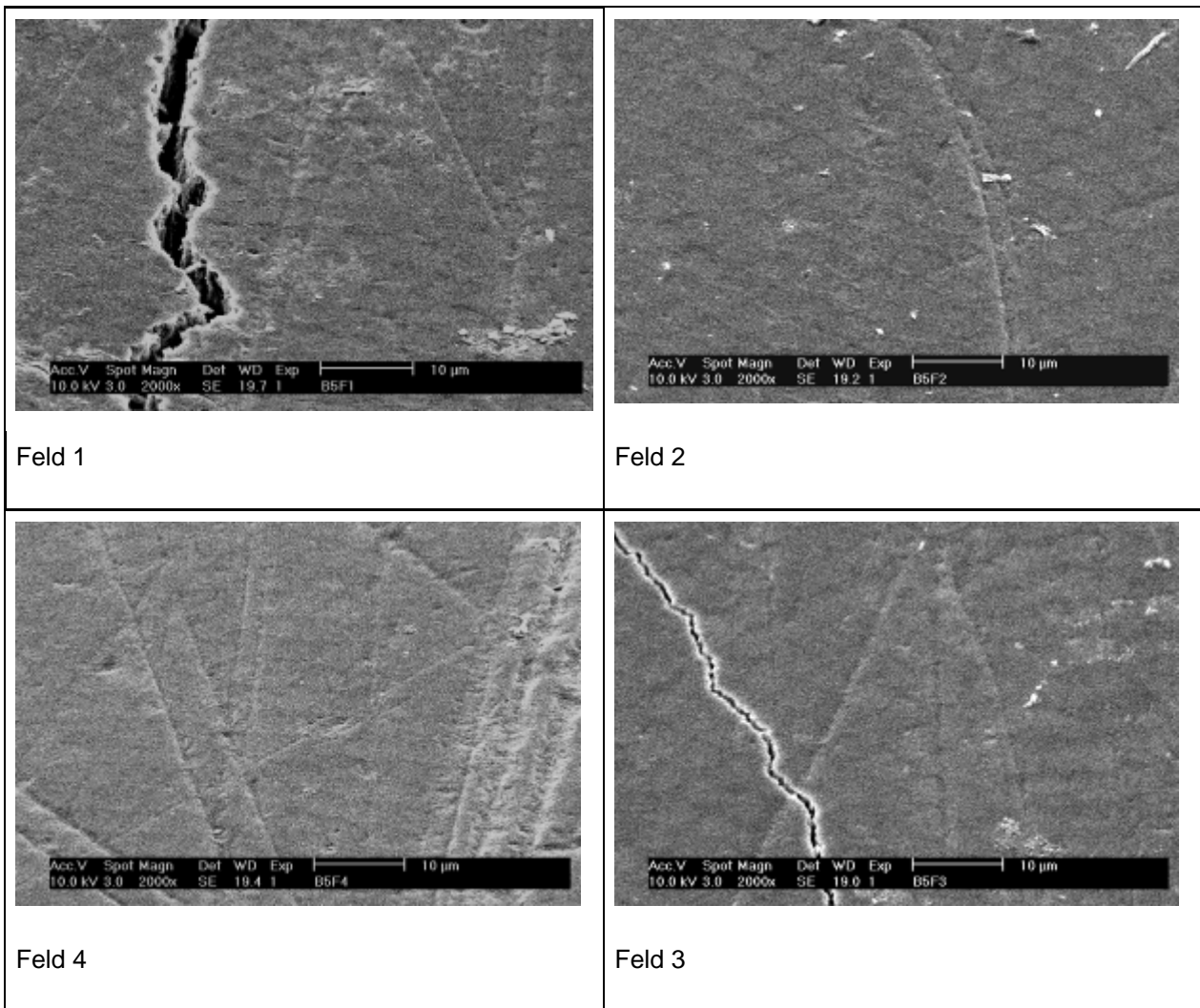


Abb. 25: Übersicht der REM-Bilder (2000-fache Vergrößerung) einer Schmelzprobe: Von jedem unterschiedlich behandelten Feld wurde von einer repräsentativen Stelle eine Aufnahme angefertigt.

Bei der Betrachtung dieser Felder wurde ein besonderes Augenmerk auf 4 verschiedene mögliche Phänomene gelegt, die sich auf den REM-Bildern der Schmelzproben wieder finden können:

- Detritus
- Schleifspuren
- Prismenstrukturen
- Trocknungsartefakte.

Zum einen wurde auf der Schmelzoberfläche befindlichen Detritus geachtet. Dieser stellt sich auf den REM-Bildern als kleine weiße oder hellgraue, abgerundete einzelne oder auch als gruppierte Erhabenheiten dar.

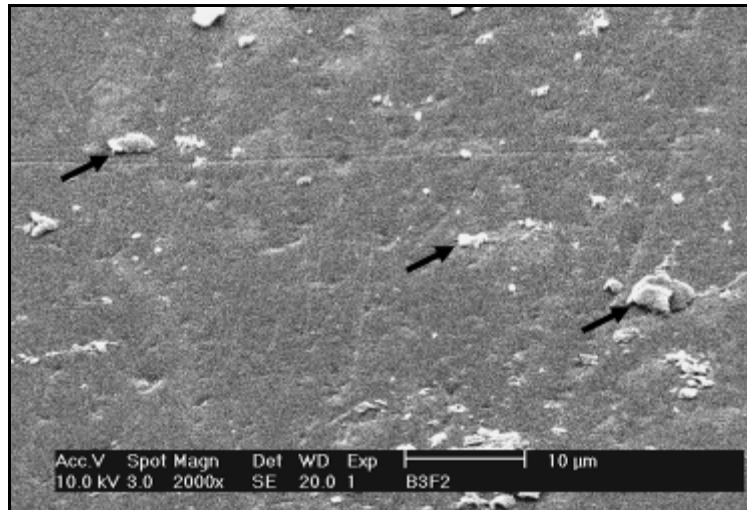


Abb. 26: Die Pfeile kennzeichnen auf der Schmelzoberfläche abgelagerten Detritus (2000-fache Vergrößerung).

Ein weiterer Gesichtspunkt, der bei der rasterelektronenmikroskopischen Beobachtung Berücksichtigung fand, waren Schleifspuren. Deutlich sichtbare, meist gerade Linien bilden kleine Rillen in der Schmelzoberfläche. Zum Teil sind auch leichte dunklere Schattenbildungen durch den entsprechenden Strahleinfall in den Rillen zu erkennen.

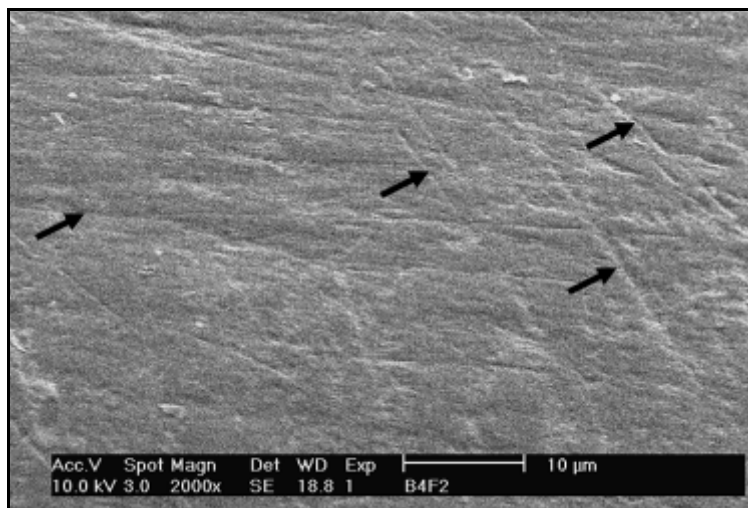


Abb. 27: Die Pfeile in dieser REM-Abbildung (2000-fache Vergrößerung) weisen auf vorhandene Schleifspuren auf der Schmelzoberfläche hin.

Darüber hinaus wurde auf Prismenstrukturen an der Schmelzoberfläche geachtet. Diese stellen sich durch ein wabenförmiges Muster dar, wobei der „Rand“ eher dunkler und die Innenfläche der Wabe eher heller sind.

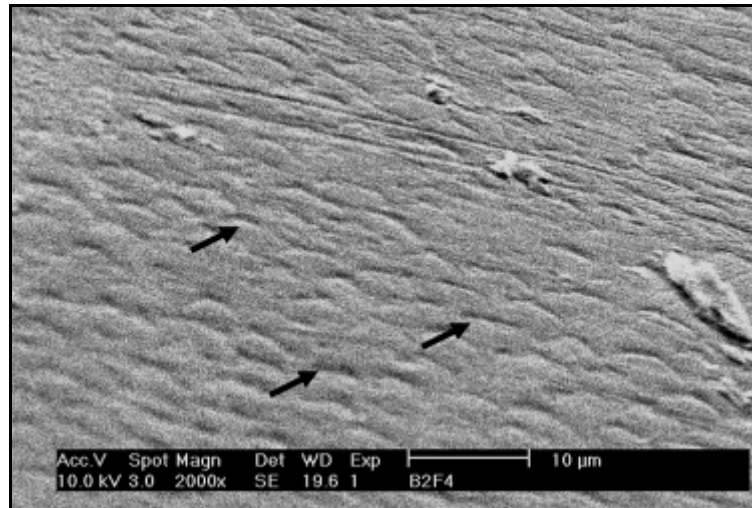


Abb. 28: Auf diesem REM-Bild (2000-fache Vergrößerung) sind Prismenstrukturen deutlich zu erkennen.

Nicht zuletzt wurden auch Schmelzrisse festgestellt, die als Trocknungsartefakte zu verstehen sind. Auf dem REM-Bild ist in diesem Fall eine Kontinuitätsunterbrechung der Schmelzoberfläche zu beobachten. Das „Tal“ zwischen den beiden Schmelzseiten ist tief schwarz, die Ränder der „Schlucht“ hingegen weiß.

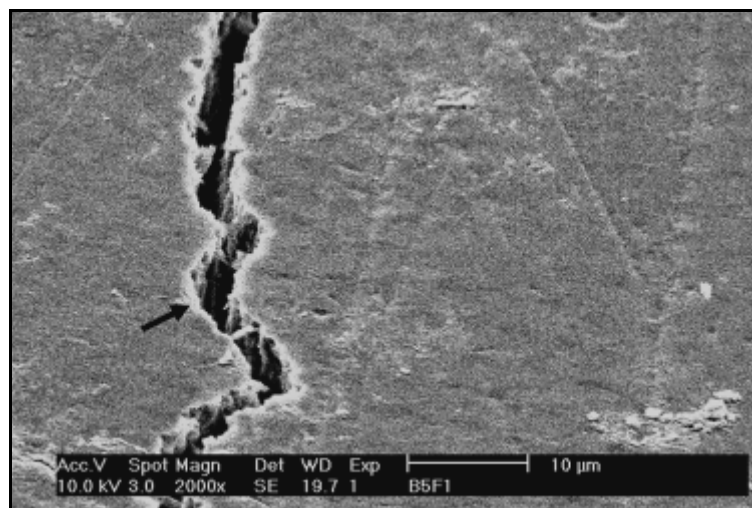


Abb. 29: In diesem REM-Bild ist ein Schmelzriss klar erkenntlich, der als Trocknungsartefakt zu verstehen ist.

Die Häufigkeit der 4 zuvor beschriebenen Phänomene wurde für jedes einzelne Feld bestimmt. Jeweils alle 10 gleich behandelten Felder wurden miteinander verglichen. Das bedeutet, dass alle Felder 1, d. h. alle unbehandelten Felder, miteinander verglichen wurden. Auch alle ausschließlich gebleichten Felder 2 betrachtete man isoliert. Ebenso wurden separat die Felder 3 bzw. 4 analysiert. Abb. 30 zeigt jeweils den Vergleich der Felder 1 bis 4 zweier Schmelzproben.

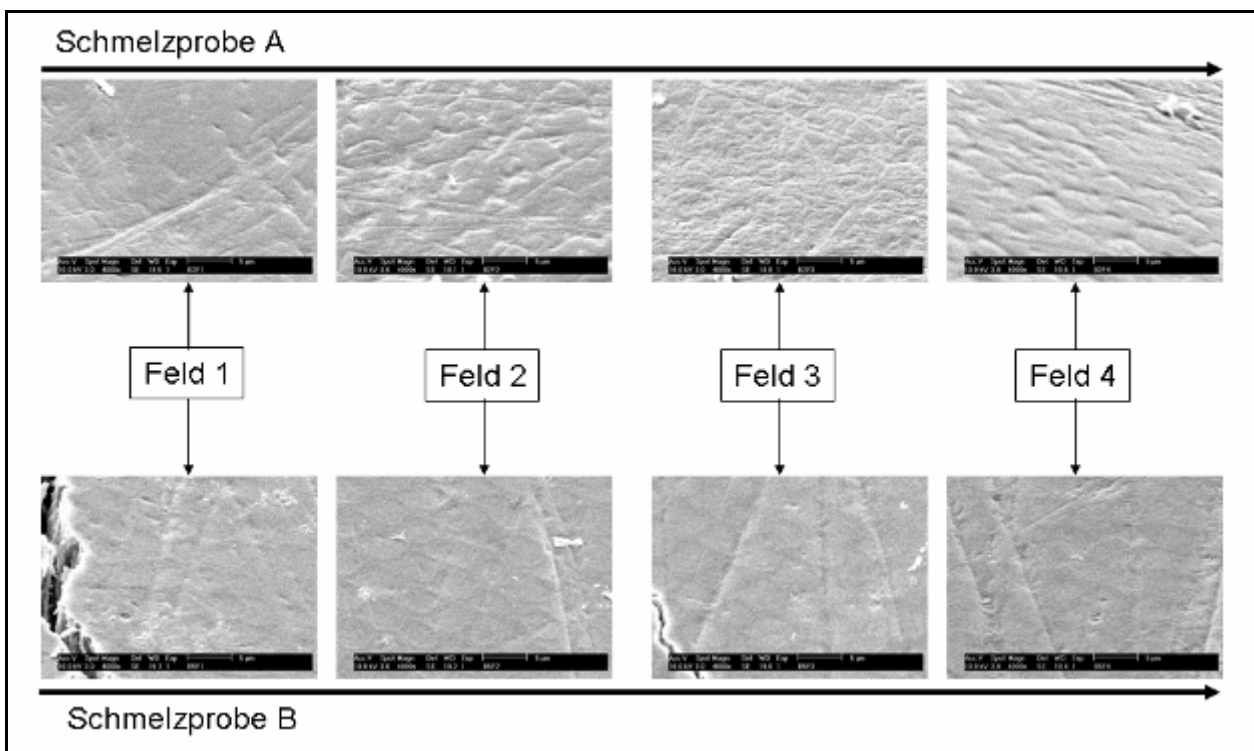


Abb. 30: Beispielhafter Vergleich der REM-Bilder zweier Schmelzproben (jeweils 2000-fache Vergrößerung).

Zusätzlich wurden auch die 4 verschieden behandelten Felder jeweils einer Schmelzprobe unter den beschriebenen Gesichtspunkten Detritus, Schleifspuren, Prismenstrukturen und Trocknungsartefakte miteinander verglichen.

Abb. 31 zeigt die Felder 1 bis 4 einer Schmelzprobe in 2000-facher Vergrößerung im Vergleich. Dort konnte neben Detritus, Prismenzonen, Schleifspuren und Schmelzrissen, die als Trocknungsartefakte zu verstehen sind, keine veränderte Oberflächenstruktur festgestellt werden.

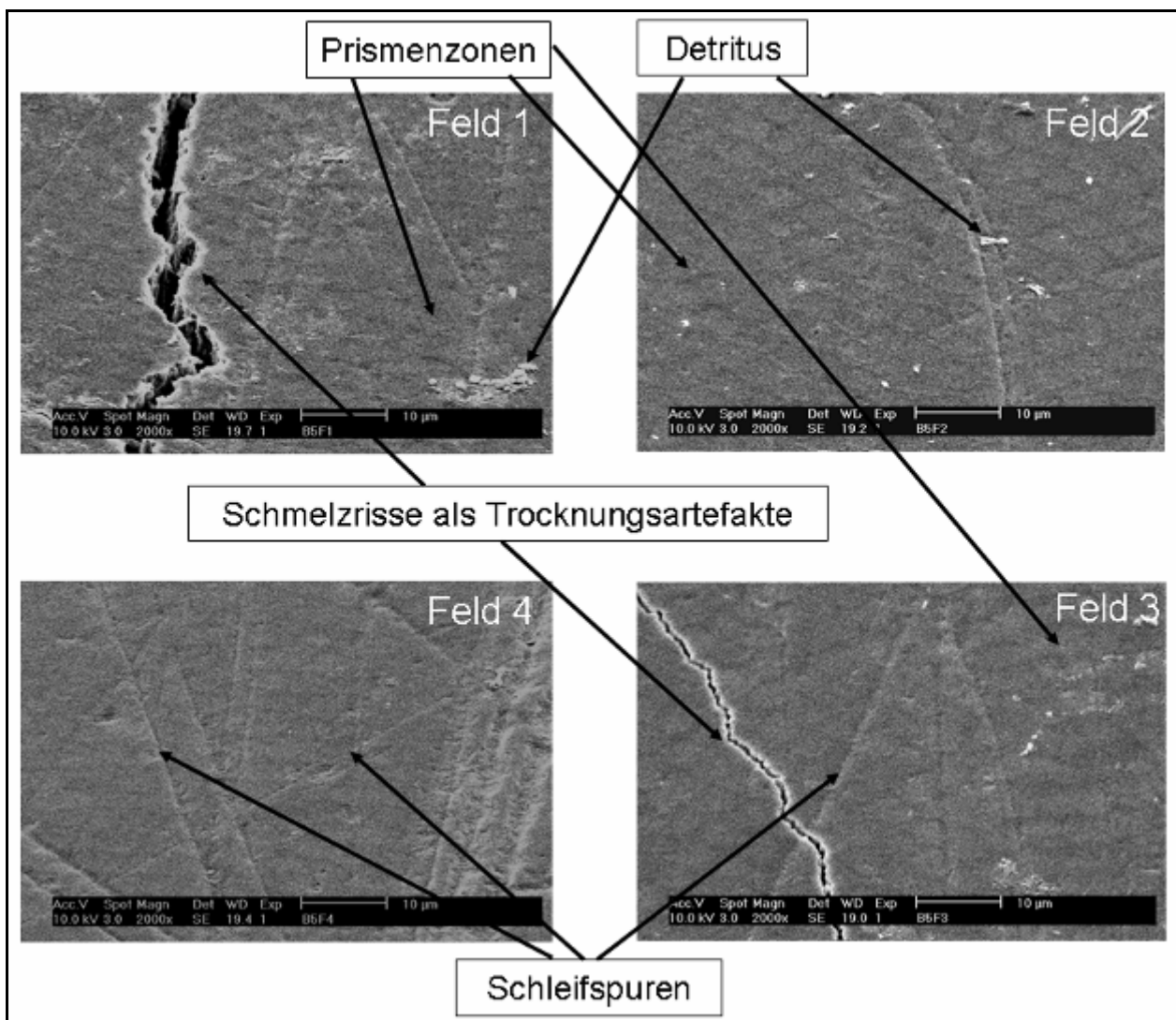


Abb. 31: Die 4 Faktoren, Detritus, Schmelzrisse, Schleifspuren und Prismenstrukturen, die bei der Betrachtung der REM-Bilder besondere Beachtung fanden, sind hier am Beispiel der 4 Felder einer Schmelzprobe zusammen dargestellt.

## 2.4 Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung der Schmelzproben in Bezug auf mögliche Veränderungen der Oberflächenstruktur des Zahnschmelzes erfolgte mit dem Chi-Quadrat-Test. Das Signifikanzniveau wurde hierbei auf 5 % festgelegt, das einem Chi-Quadrat-Wert von 7,81 entspricht.

---

### 3. Ergebnisse

#### 3.1 Farbveränderung der Schmelzproben

Zunächst lässt sich feststellen, dass die den Bleichmaßnahmen angeschlossene Fluoridierung und das pH-Cycling die Farbe der Schmelzproben nicht verändert haben. Dies gilt sowohl für die Farbhelligkeit, die Farbintensität als auch für den Farbton (siehe Abb. 36, 40, 42).

Zur Farbbestimmung wurden jeweils gemeinsam die Felder 3 und 4 einer Probe betrachtet, da sich diese farblich nicht unterschieden. Bezogen wurde die festgelegte Farbe der Felder auf die Felder 1 und 2, bzw. auf die vor den Bleichmaßnahmen bestimmte Farbe der Schmelzprobe. Diese Ausgangszahnfarbe entspricht der so genannten „Baseline“. Bei den Feldern 1 und 2 wurde im Verlauf der Studie keine Farbveränderung untereinander festgestellt, d. h. die Fluoridierung veränderte die Farbe der Schmelzprobe nicht.

In Abb. 32 ist der Verlauf der Farbentwicklung einer der insgesamt 20 Schmelzproben beispielhaft dargestellt. Die verschiedenen Parameter zur Farbbestimmung sind einzeln aufgeführt. Daraus erkennt man, dass sich der Farbton dieser Probe nicht verändert hat. Die Intensität der Schmelzprobe war vor dem Bleichen sehr satt, was der Farbstufe 5 entsprach. Bereits nach einem Bleichvorgang zeigten die gebleichten Felder hingegen eine um 4 Stufen blässere Intensität. Auch die Helligkeit dieser Probe war ursprünglich mit der Helligkeitsstufe 5 sehr dunkel. Jedoch konnte schon nach einem Bleichtag eine Aufhellung der gebleichten Felder um eine Helligkeitsstufe, nach 2 Bleichtagen sogar eine Aufhellung um 2 Helligkeitsstufen beobachtet werden. Wie zuvor erwähnt, ist darüber hinaus auch aus diesem Diagramm ersichtlich, dass die den Bleichmaßnahmen angeschlossene Fluoridierung und ebenfalls das pH-Cycling zu keiner Veränderung der Zahnfarbe führten.

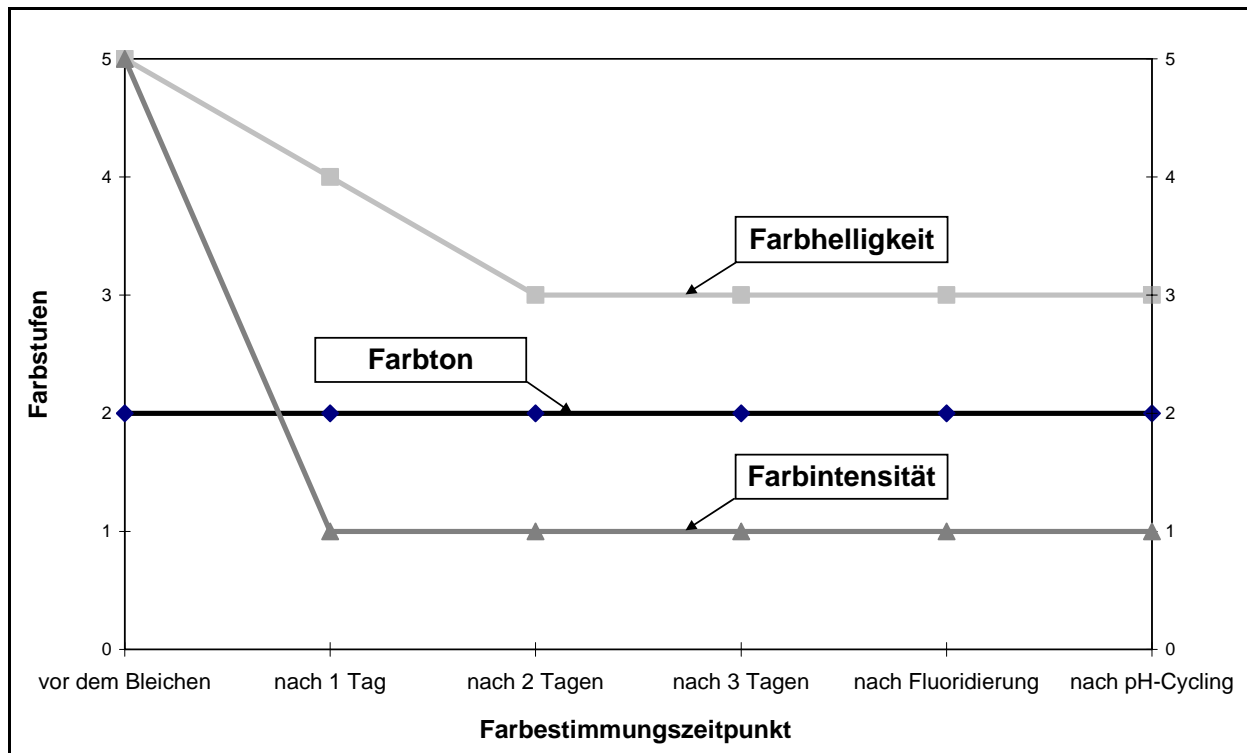


Abb. 32: Zeitlicher Verlauf der einzelnen Farbparameter einer Schmelzprobe: Der Farbton hat sich nicht verändert und blieb während der gesamten Behandlung bei der Ausgangsfarbstufe 2. Die Farbhelligkeit war vor dem Bleichen mit der Helligkeitsstufe 5 sehr dunkel. Bereits nach dem ersten Bleichvorgang hellte sich der Zahn um eine Stufe, nach dem zweiten Tag um eine weitere Helligkeitsstufe auf. Bis zum Ende der Behandlung veränderte sich die Farbhelligkeit dann nicht mehr und blieb bei Stufe 3. Die Farbintensität wurde bereits nach dem ersten Bleichprozess um 4 Stufen blasser. Diese nach dem ersten Bleichtag erreichte Intensitätsstufe 1 veränderte sich im Laufe der Behandlung nicht mehr.

Eine Tabelle mit dem zeitlichen Verlauf und der Entwicklung der einzelnen Farbparameter aller Schmelzproben ist dem Anhang zu entnehmen.

Die Farbveränderung der Proben im Rahmen der Bleichmaßnahmen war vor allem durch eine Änderung der Helligkeits- und Intensitätsstufen bedingt. Der Farbton blieb weitestgehend unverändert. Dies soll nun im Einzelnen näher betrachtet werden.

Abb. 33 zeigt ein Histogramm, bei dem auf der x-Achse die Helligkeitsstufen 1 bis 5 gegen die Anzahl der Proben auf der y-Achse aufgetragen sind. Die dominierenden



Helligkeitsstufen vor bzw. nach dem Bleichen werden hier miteinander verglichen. Daraus ist zu erkennen, dass vor den Bleichmaßnahmen die Helligkeitsstufen 3 und 4 mit insgesamt 65 % überwiegen; nach dem Bleichen die Helligkeitsstufen 1 und 2 mit 95 %.

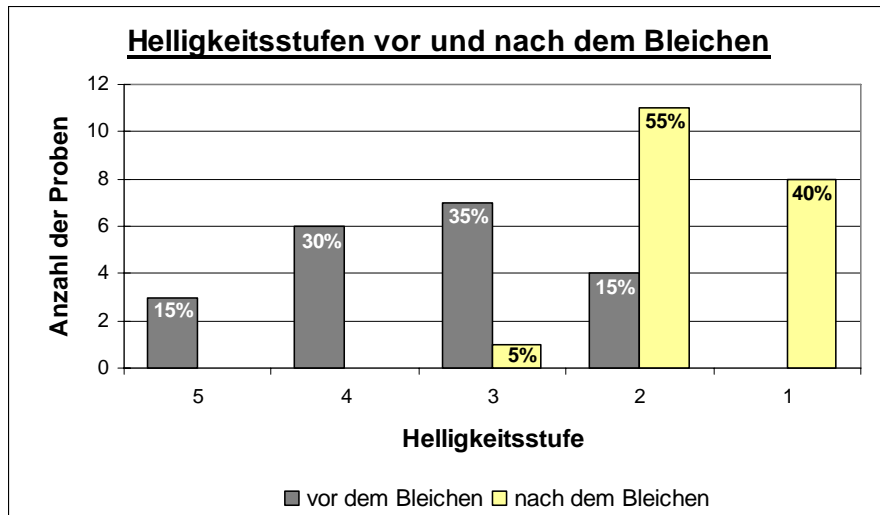


Abb. 33: Verteilung der Helligkeitsstufen vor und nach dem Bleichen: vor den Bleichmaßnahmen überwiegen mit insgesamt 65 % die Helligkeitsstufen 3 und 4, nach dem Bleichen mit 95 % die Helligkeitsstufen 1 und 2 (n = 20).

Die quantitative Helligkeitsentwicklung ist nachfolgend in Abb. 34 dargestellt. Das Kreisdiagramm veranschaulicht, wie viel Prozent aller Schmelzproben sich um wie viele Stufen aufgehellt haben, unabhängig von der ursprünglich bestimmten Helligkeit. Bei 15 % der Proben wurde demnach eine Aufhellung um 3 Helligkeitsstufen erreicht. 10 % aller Proben konnten durch die Bleichmaßnahmen nicht aufgehellt werden. Eine Aufhellung um 4 Helligkeitsstufen konnte mit Voco Perfect Bleach<sup>®</sup> in dieser Studie nicht erreicht werden. Dominierend mit 55 % wurde eine Veränderung um 2 Helligkeitsstufen erzielt. 20 % der Proben wurden um eine Stufe aufgehellt.

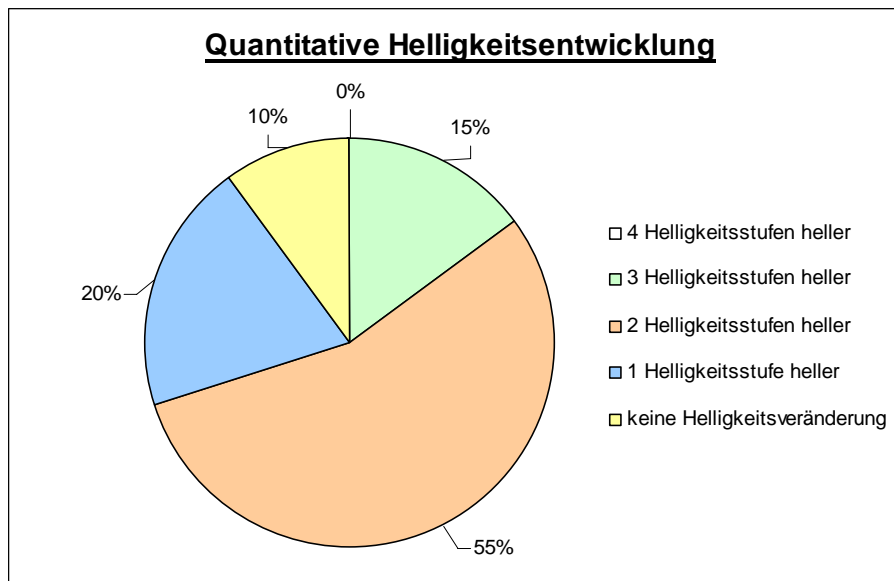


Abb. 34: Quantitative Helligkeitsentwicklung: In diesem Diagramm ist abgebildet, wieviel Prozent aller Proben ( $n = 20$ ) sich um wie viele Helligkeitsstufen verändert haben. Dominierend mit 55 % ist eine Aufhellung um 2 Stufen. Bei 10 % wurde keine Helligkeitsveränderung beobachtet.

In Abb. 35 ist die gesamte Entwicklung der Farbhelligkeit aller Schmelzproben dargestellt. Auffallend hieran ist, dass vor den Bleichmaßnahmen die Helligkeitsstufen 3 und 4 dominierten, wie auch schon in Abb. 33 gezeigt. Jedoch erreichten bereits nach einem Bleichtag 60 % der Proben die Helligkeitsstufe 2. Insgesamt wurde nach dem zweiten Bleichtag für 40% der Proben die Helligkeitsstufe 1 bestimmt. Bei 95 % der Schmelzproben wurden nach 3 Bleichtagen nur noch die Helligkeitsstufen 2 und 1 ermittelt. Aus diesem Diagramm ist zudem zu erkennen, dass die Fluoridierung und das pH-Cycling die Helligkeitsstufen der Schmelzproben nicht weiter verändert haben.

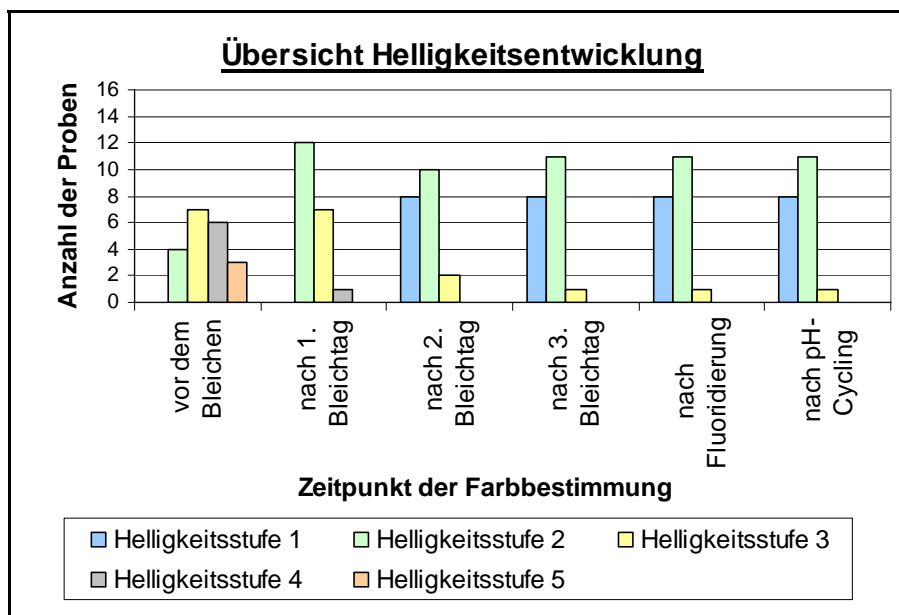


Abb. 35: Übersicht über die Entwicklung der Helligkeitsstufen: Nach dem zweiten Bleichtag dominieren die Helligkeitsstufen 1 und 2. Die den Bleichmaßnahmen angeschlossene Fluoridierung und das pH-Cycling haben die Farbhelligkeit der gebleichten Proben nicht mehr beeinflusst.

In der VITA Toothguide 3D-Master® Farbskala ist die Farbintensität in 5 Stufen eingeteilt: von satt, welches Stufe 3 entspricht über 2,5, 2, 1,5 bis zur blassesten Intensitätsstufe 1. Zur übersichtlicheren Auswertung und Darstellung der Ergebnisse wurden diese 5 Stufen in der vorliegenden Studie durch natürliche Zahlen 1, 2, 3, 4, 5 beschrieben. Abb. 36 zeigt nachfolgend die quantitative Intensitätsentwicklung der Schmelzproben. Die prozentuale Verteilung der Veränderung der Intensitätsstufen im Rahmen der Bleichmaßnahmen ist hier dargestellt.

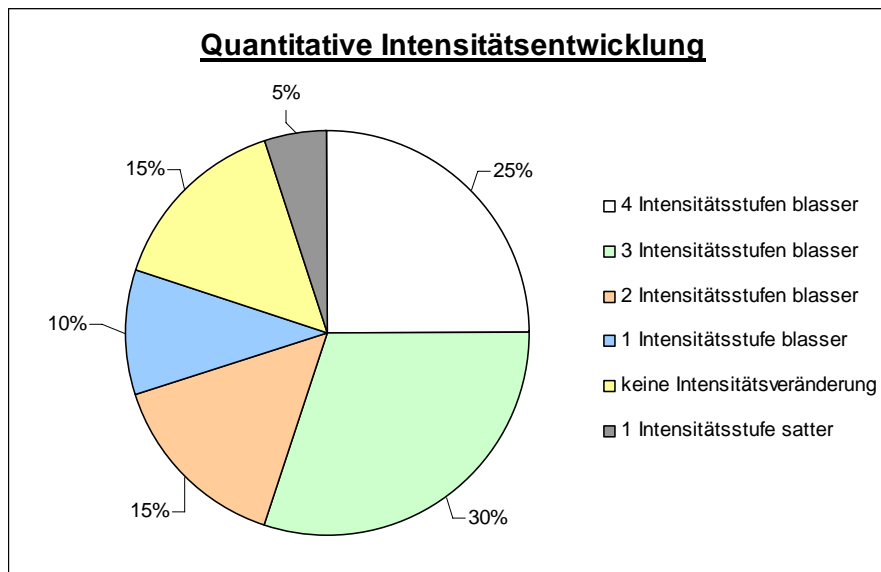


Abb. 36: Quantitative Intensitätsentwicklung: Das Diagramm zeigt, wie viel Prozent aller Proben ( $n = 20$ ) sich um wie viele Intensitätsstufen verändert haben. Bei 5 % wurde die Intensität durch das Bleichen kräftiger. Keine Veränderung der Intensitätsstufe wurde bei 15 % der Proben beobachtet. Dominierend mit 30 % ist eine Veränderung um 3 Stufen, gefolgt von 25 % der Proben, die eine Veränderung um 4 Stufen zur blässeren Intensität aufzeigen.

Bei 25 % der Proben wurde die Farbintensität maximal, d. h. um 4 Stufen blasser. Eine Abnahme der Intensität um 3 Stufen wurde bei 30 % erreicht. Um 2 Stufen blasser wurde die Farbintensität bei 15 % der Schmelzproben. Das bedeutet, dass bei 70 % der Schmelzproben die Intensität durch die Bleichmaßnahmen um mindestens 2 Stufen reduziert wurde. Diese Abnahme der Intensität bei der Mehrzahl der Proben bewirkt einen signifikanten Aufhellungseffekt. 10 % der Proben verblassten durch den Bleichvorgang um nur eine Stufe. Bei 15 % der Proben war keine Veränderung der Farbintensität festzustellen. Lediglich bei einer Probe ist die Farbintensität durch die Bleichmaßnahmen satter geworden. Abb. 37 veranschaulicht in einer Übersicht die Intensitätsentwicklung aller Schmelzproben. Auffallend hieran ist die Dominanz der satten Intensitätsstufen 4 und 5 vor dem Bleichen. Bereits nach dem ersten Bleichtag haben jedoch 65 % aller Proben die blässeste Intensitätsstufe 1 erreicht.

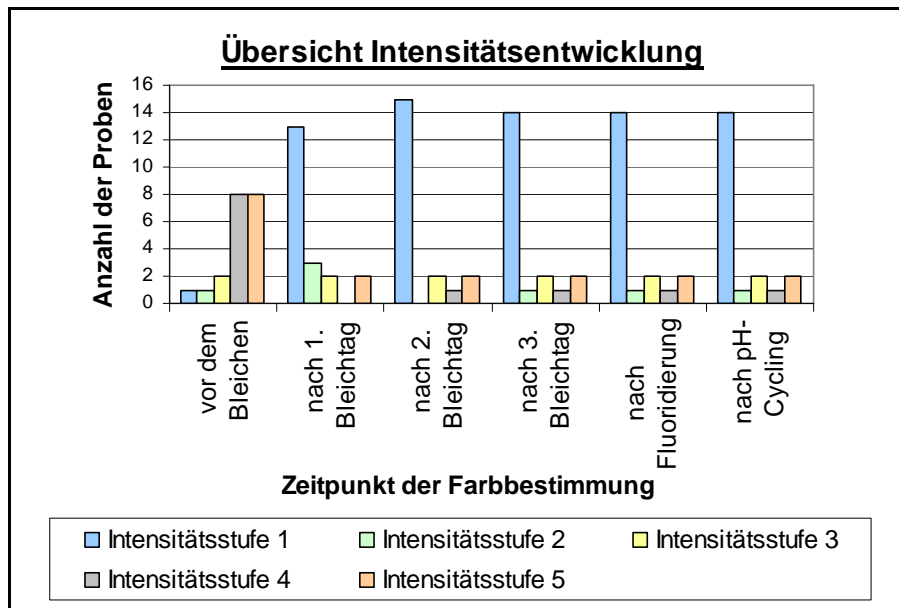


Abb. 37: Übersicht über die Entwicklung der Intensitätsstufen aller Proben (n = 20): Vor dem Bleichen dominieren die satten Stufen 4 und 5, nach dem ersten Bleichtag bereits die blasse Intensitätsstufe 1. Darüber hinaus haben die den Bleichmaßnahmen angeschlossene Fluoridierung und auch das pH-Cycling die Farbintensität der gebleichten Proben nicht mehr beeinflusst.

Wie bereits in Kapitel 2 erläutert, ist der Farbton in der VITA Toothguide 3D-Master® Farbskala in „L“-, „M“- und „R“-Gruppen unterteilt. In der Auswertung entspricht dies den Farbtonstufen 1, 2 und 3. Somit ist eine Änderung des Farbtons um maximal 2 Stufen möglich, entweder vom rötlichen (R = 3) zum gelblichen (L = 1) Farbton oder umgekehrt. Abb. 38 veranschaulicht die quantitative Farbtonentwicklung der Schmelzproben. Unabhängig von dem Ausgangsfarbton wird hier dargestellt, wie viel Prozent der Proben ihren ursprünglichen Farbton um wie viele Farbtonstufen verändert haben. 45 % der Proben haben ihren Farbton im Rahmen der Bleichmaßnahmen um eine Stufe verändert. Bei 55 % der Proben fand keine Farbtonveränderung statt. Des Weiteren ist ersichtlich, dass in dieser Studie (0 %-Anteil) eine Änderung um 2 Farbtonstufen nicht vorkam.

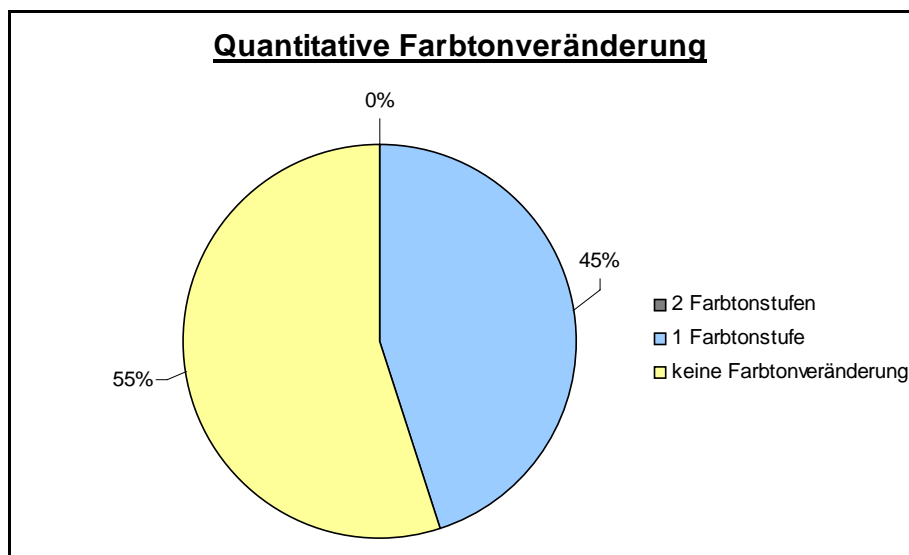


Abb. 38: Quantitative Farbtonveränderung: Prozentuale Darstellung der Farbtonstufenveränderung aller Proben ( $n = 20$ ). Eine Veränderung um 2 Farbtonstufen kam nicht vor. Bei 45 % wurde eine Veränderung um eine Farbtonstufe beobachtet. Überwiegend mit 55 % konnte allerdings keine Veränderung des Farbtons festgestellt werden.

Die quantitative Betrachtung der Farbtonentwicklung im Rahmen der Bleichmaßnahmen ergab, dass sich bei 45 % der Proben der Farbton verändert hat. Daher soll nun in qualitativer Hinsicht beurteilt werden, in welche Richtung sich der Farbton verwandelt hat. Hierbei wurde folgendes Ergebnis festgestellt: Keine der Schmelzproben entwickelte durch die Behandlung mit dem Bleichmittel einen rötlicheren Farbton (entspricht der Farbtonstufe 3). 5 % der Proben haben eine gelblichere Nuance (Farbtonstufe 1) erhalten. 40 % der Schmelzproben veränderten ihren Farbton zur mittleren neutralen Farbtonstufe 2 hin. Diese qualitative Farbtonentwicklung ist Abb. 39 zu entnehmen.

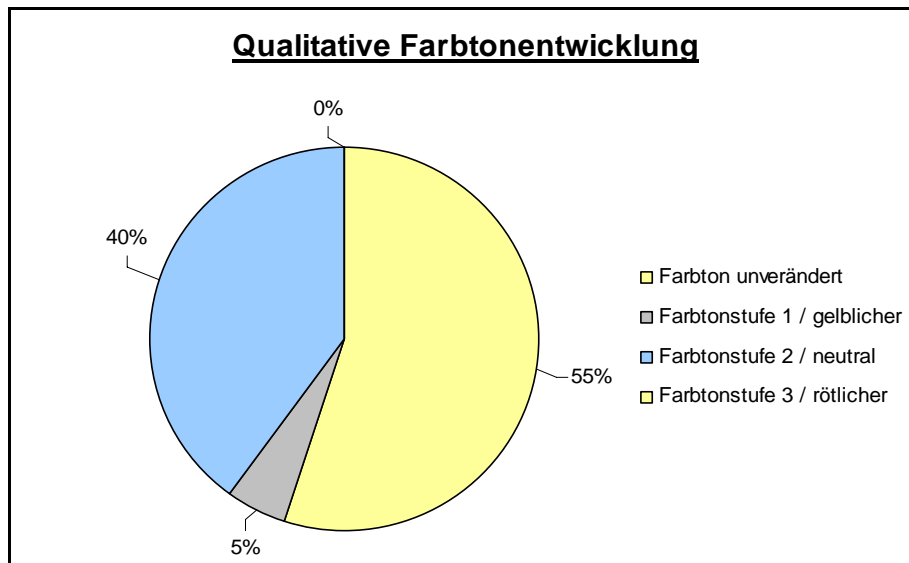


Abb. 39: Qualitative Farbtonentwicklung: 45 % aller Proben ( $n = 20$ ) veränderten im Rahmen der Bleichmaßnahmen ihren Farbton. 5 % der Proben entwickelten einen gelblicheren Farbton der Stufe 1. Ein rötlicherer Farbton der Stufe 3 ergab sich durch das Bleichen nicht. Vorherrschend mit 40 % war eine Veränderung zur neutralen Farbtonstufe 2 zu beobachten.

Eine weiter reichende Analyse der 45 % der Proben, die ihren Farbton um eine Stufe veränderten, ist in Abb. 40 dargestellt. Hier wird nun die Farbtonveränderung in Abhängigkeit von der ursprünglichen Farbtonstufe beurteilt. Daraus ergibt sich folgende Einteilung: Lediglich bei einer Probe (entspricht 5 % aller Proben), wurde eine Farbtonveränderung von der mittleren Farbtongruppe „M“ zum gelblichen Farbton „L“ festgestellt. 15 % veränderten in umgekehrter Richtung von der gelblichen Farbtongruppe „L“ zur mittleren neutralen Gruppe „M“ hin ihren Farbton. 25 % der Proben, die ihren Farbton um eine Stufe wechselten, hatten ursprünglich einen rötlichen Farbton. Dieser wurde durch die Bleichmaßnahmen zur neutralen „M“-Gruppe hin verändert (Abb. 40). Somit lässt sich zusammenfassend sagen, dass eine Farbtonveränderung um eine Stufe zu 89 % zur neutralen Farbtongruppe „M“ hin erfolgte. Eine Umwandlung des Farbtons von der „neutralen“ Mitte zur rötlichen Gruppe konnte in dieser Studie nicht beobachtet werden. Ebenso zeigt auch das folgende Diagramm, dass es weder eine Schmelzprobe mit einem ursprünglich gelben Farbton gab, die nach den Bleichmaßnahmen einen eher rötlichen Farbton aufzeigte, noch umgekehrt.

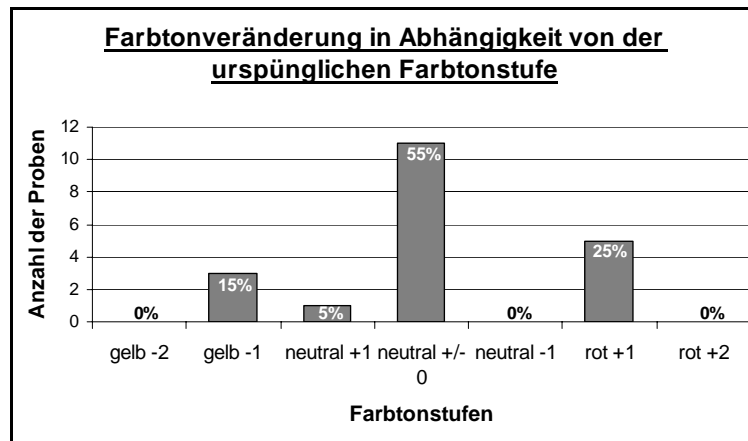


Abb. 40: Detaillierte Verteilung der Farbtonveränderung in Abhängigkeit von der ursprünglichen Farbtonstufe (n = 20): 15 % der Proben veränderten ihren gelblichen Farbton durch die Bleichmaßnahmen um eine Stufe zur neutralen Farbtonstufe. Von dieser neutralen Stufe wurde lediglich bei 5 % eine Veränderung um eine Stufe zum gelblichen Farbton festgestellt. Vom ursprünglichen rötlichen Farbton wechselten nach dem Bleichen 25 % der Proben um eine Stufe zur neutralen Farbtonstufe. Des Weiteren zeigt das Diagramm, dass 55 % der Proben, die ursprünglich einen neutralen Farbton hatten, diesen nicht veränderten. Auch ist zu erkennen, dass keine Farbtonveränderung um 2 Farbtonstufen durch die Bleichmaßnahmen verursacht wurde, weder vom gelblichen zum rötlichen Farbton noch umgekehrt. Auch wurde keine Farbtonveränderung um eine Stufe vom neutralen Farbton hin zum rötlichen beobachtet.

Das Gesamtergebnis der Bleichwirkung des Produktes Voco Perfect Bleach® wird im folgenden Diagramm dargestellt (Abb. 41). Bezüglich der durchschnittlichen Farbentwicklung aller 3 Dimensionen, die eine Farbe bestimmen, zeigte sich eine Zunahme der Helligkeit um durchschnittlich 1,75 Helligkeitsstufen. Die Intensität reduzierte sich um durchschnittlich 2,25 Intensitätsstufen und der Farbton blieb mit einer durchschnittlichen Zunahme von 0,15 Farbtonstufen annähernd unverändert.



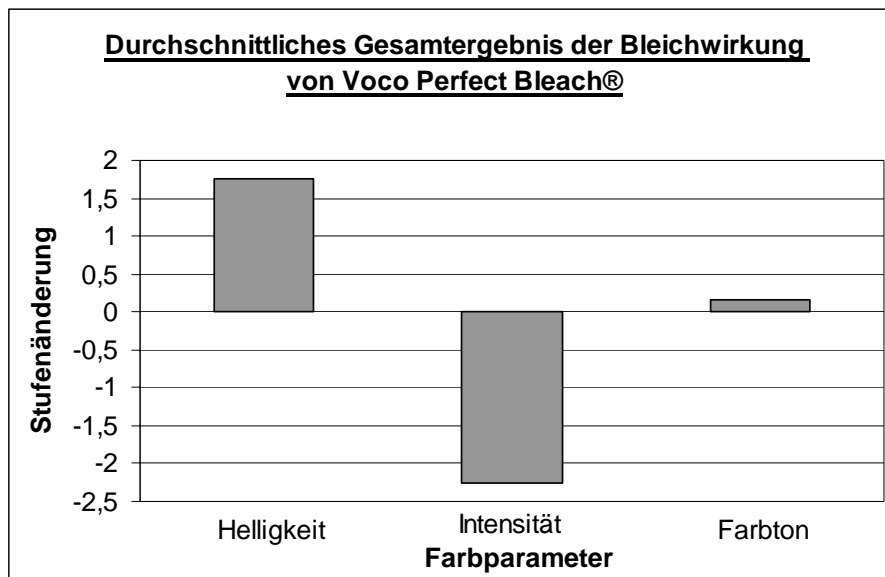


Abb. 41: Gesamtergebnis bezüglich der durchschnittlichen Bleichwirkung des Produktes Voco Perfect Bleach auf die einzelnen Farbdimensionen aller Schmelzproben (n = 20)

### 3.2 Oberflächenmorphologie des Zahnschmelzes nach den Bleichmaßnahmen

Die Analyse der REM-Bilder ergab, dass sich Detritus auf allen 4 unterschiedlich behandelten Feldern aller rasterelektronenmikroskopisch untersuchten Schmelzproben befand (Abb. 42). Aufgrund dieses Ergebnisses kann kein Rückschluss auf die unterschiedliche Behandlung der verschiedenen Felder gezogen werden. Diese stochastische Unabhängigkeit bestätigt auch der Chi-Quadrat-Test. Bei einem Signifikanzniveau von 5 % muss das Chi-Quadrat bei 3 Freiheitsgraden kleiner als 7,81 sein, um als stochastisch unabhängig zu gelten. In diesem Fall war das Chi-Quadrat mit Null deutlich kleiner als 7,81.

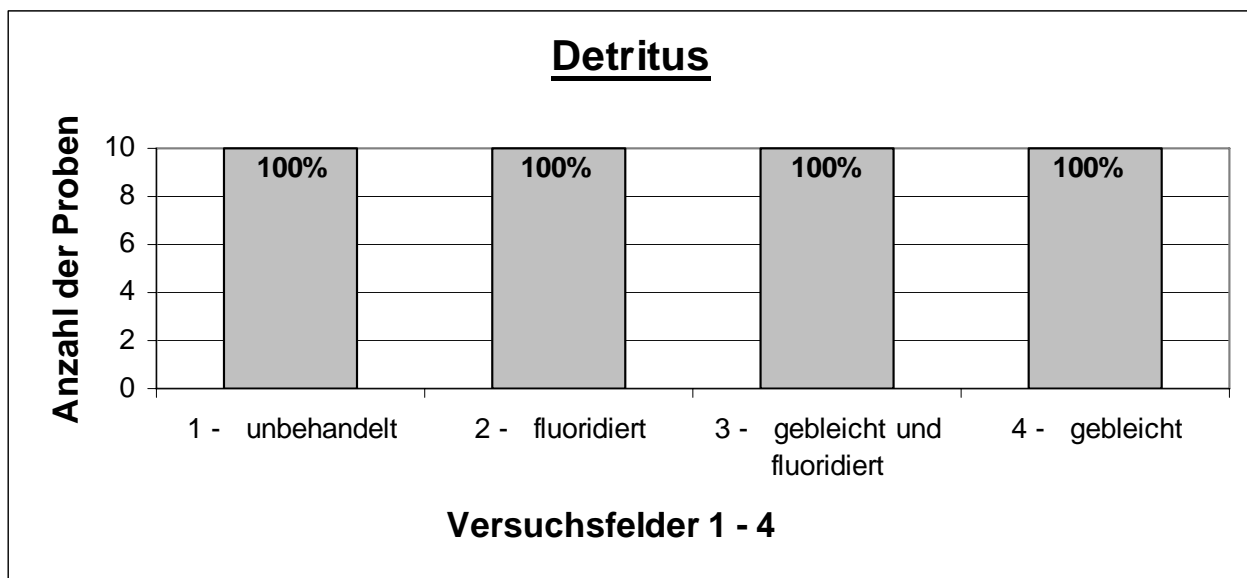


Abb. 42: Verteilung des Detritus auf den unterschiedlich behandelten Feldern der Schmelzproben: Detritus war auf allen Feldern aller rasterelektronenmikroskopisch untersuchten Proben (n = 10) zu erkennen.

Ebenso kann nicht von einer bevorzugten Verteilung der Schleifspuren ausgegangen werden. Es kam zu einer zufälligen Verteilung dieser Phänomene, die sich wie folgt auf die verschiedenen Versuchsfelder aufteilt: Bei 80 % der Felder 1, 60 % der Felder 2, 70 % der Felder 3 und 90 % der Felder 4 wurden Riefen beobachtet (Abb. 43). Diese Schleifspuren sind vielmehr als Gebrauchsspuren anzusehen. Das Chi-Quadrat für die

Schleifspuren beträgt 2,66. Auch dieser Wert ist kleiner als 7,81, wodurch stochastisch eine Unabhängigkeit bewiesen werden kann.

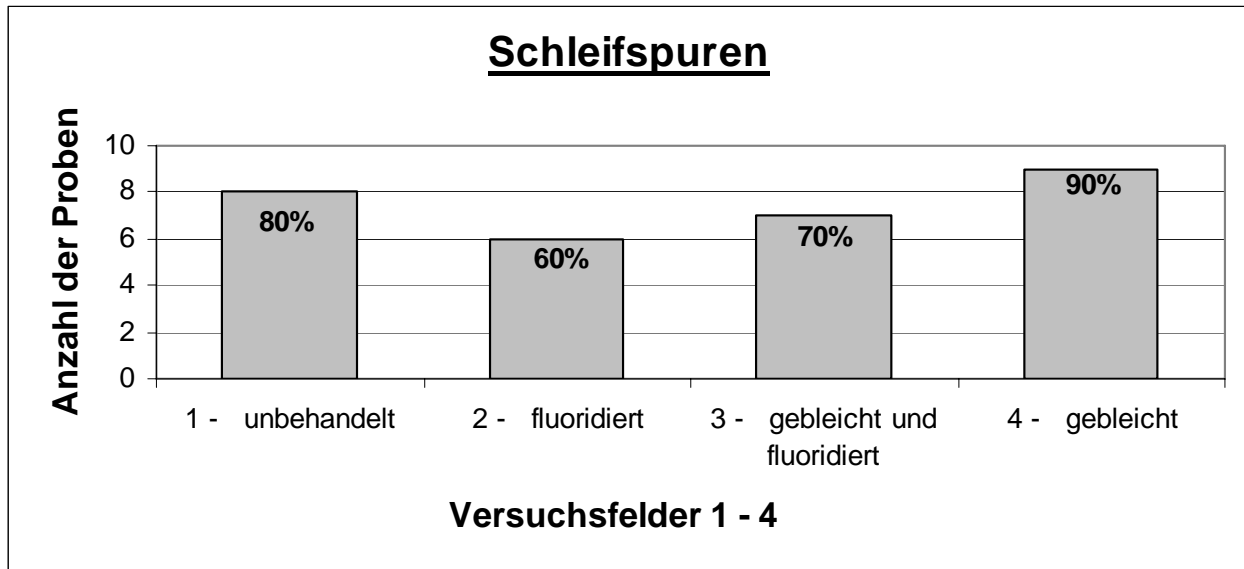


Abb. 43: Verteilung der Schleifspuren auf den unterschiedlich behandelten Feldern der Schmelzproben ( $n = 10$ ): Schleifspuren waren grundsätzlich auf allen Feldern zu erkennen. Die Verteilung ist jedoch eher zufällig und lässt keine Rückschlüsse auf die unterschiedlichen Behandlungen der Felder in dieser Studie zu.

Auf der Schmelzoberfläche erkennbare Prismenstrukturen waren eher selten zu beobachten. Nur bei 30 % aller Proben wurden überhaupt solche Strukturen gesichtet. Diese fanden sich dann jedoch auf allen 4 unterschiedlich behandelten Feldern wieder. Auf den unbehandelten Feldern 1 waren Prismenstrukturen mit 20 % zu erkennen. Genauso häufig wurden diese Phänomene auf den ausschließlich fluoridierten, aber auch auf den gebleichten und fluoridierten Feldern 3 beobachtet. 30 % der ausschließlich gebleichten Felder zeigten ebenfalls diese Erscheinungen (Abb. 44). Somit lässt auch die Verteilung der Prismenstrukturen keine Schlussfolgerung auf die unterschiedlichen Behandlungsweisen der verschiedenen Felder zu. Bezüglich der Prismenstrukturen ergab das Chi-Quadrat einen Wert von 0,43. Dieser Wert ist deutlich

kleiner als 7,81. Somit kann auch in diesem Fall eindeutig eine stochastische Unabhängigkeit bewiesen werden.

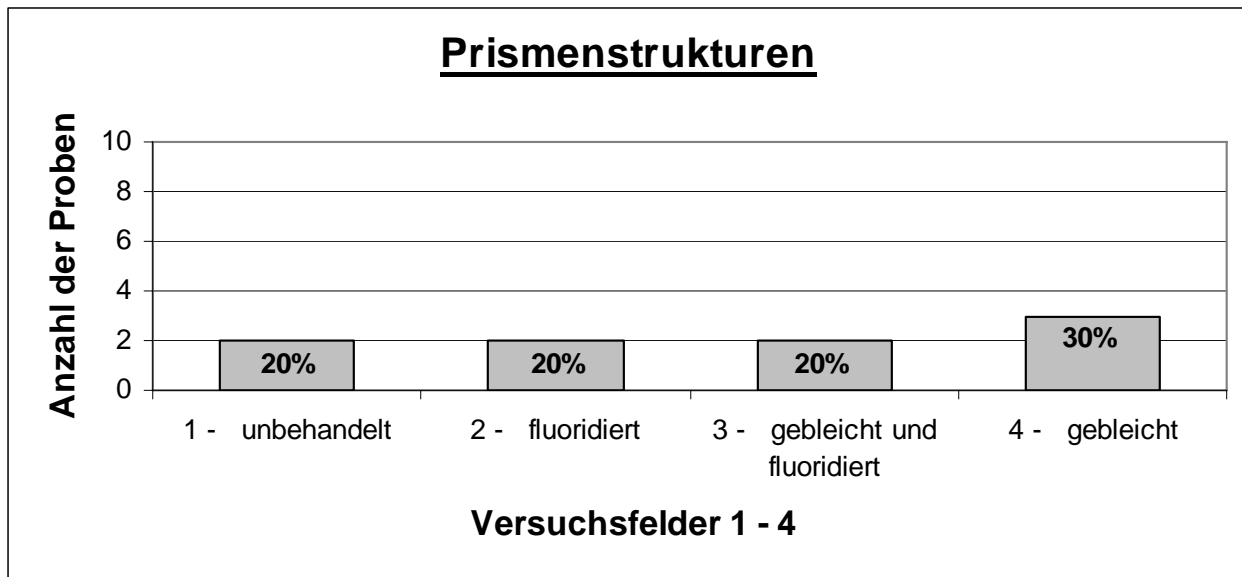


Abb. 44: Verteilung der rasterelektronenmikroskopisch erkennbaren Prismenstrukturen auf den unterschiedlich behandelten Feldern der Schmelzproben ( $n = 10$ ): Prismenstrukturen waren grundsätzlich nur sehr selten zu erkennen. Die Verteilung ist jedoch auch hier zufällig und lässt keine Rückschlüsse auf die unterschiedlichen Behandlungsweisen der verschiedenen Felder zu.

Trocknungsartefakte wurden nur bei 30 % der Proben beobachtet. Dies ist jedoch nicht repräsentativ, da in der Regel versucht wurde, rasterelektronenmikroskopische Aufnahmen von den Stellen zu machen, die keine Artefakte aufzeigten. Dennoch ergibt auch diese Auswertung eine zufällige Verteilung bezüglich der unterschiedlich behandelten Felder. Jeweils 20 % der Felder 1 und 3 wiesen Schmelzrisse im Sinne von Trocknungsartefakten auf. Bei den ausschließlich fluoridierten sowie ausschließlich gebleichten Versuchsfeldern wurden keine Artefakte erfasst (Abb. 45). Das Chi-Quadrat beträgt für die Trocknungsartefakte 4,4. Es ist zwar größer als die Werte für die anderen betrachteten Oberflächenveränderungen, aber immer noch unterhalb des Signifikanzniveaus von 7,81 (5 % bei 3 Freiheitsgraden). Somit besteht auch in diesem Fall kein gesicherter Zusammenhang zwischen der Art der Behandlung und dem Entstehen von Trocknungsartefakten.

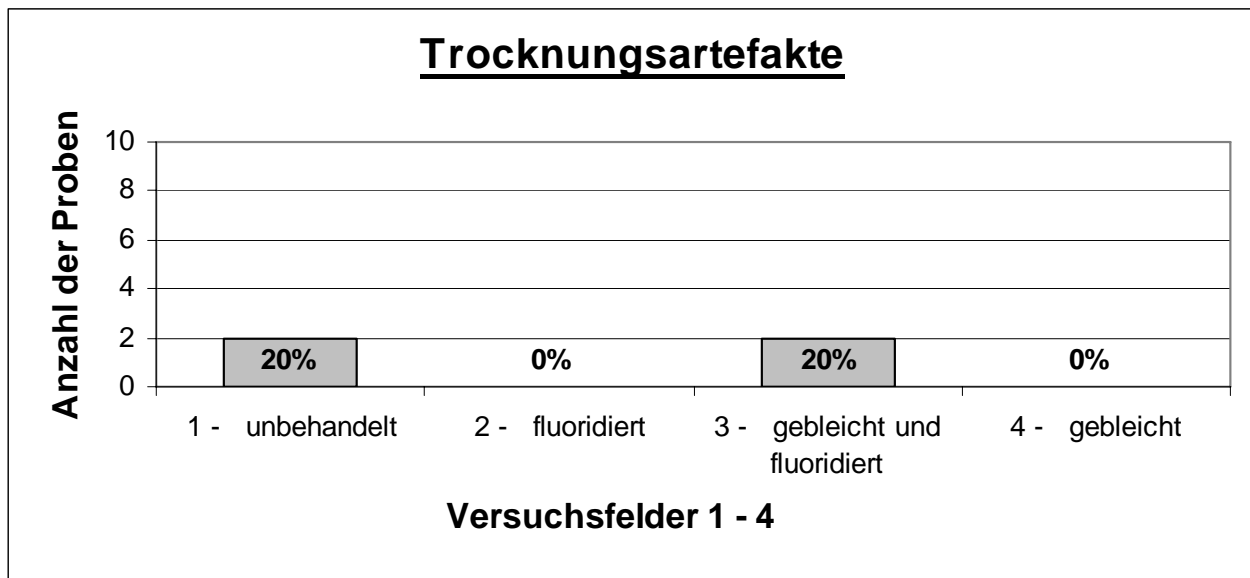


Abb. 45: Verteilung der rasterelektronenmikroskopisch erkennbaren Schmelzrisse im Sinne von Trocknungsartefakten auf den unterschiedlich behandelten Feldern der Schmelzproben ( $n = 10$ ): Diese Erscheinungen waren grundsätzlich nur sehr selten zu erkennen. Dies ist auch darauf zurückzuführen, dass während der Aufnahmen der REM-Bilder möglichst versucht wurde, artefaktfreie Stellen abzulichten. Dennoch ist auch hier die Verteilung zufällig und lässt keine Rückschlüsse auf die unterschiedlichen Behandlungsweisen der verschiedenen Felder in dieser Studie zu.

Somit liefert die REM-Analyse der Schmelzoberfläche als Ergebnis keinen nachweisbaren Unterschied der Oberflächenmorphologie der unterschiedlich behandelten Felder. Die beobachteten Erscheinungen lassen keine Rückschlüsse auf die verschiedenen Behandlungsweisen zu und waren in allen dargestellten Fällen zufällig auf die 4 verschiedenen Versuchsfelder verteilt. Eventuelle Schädigungen der Schmelzoberfläche durch die zuvor durchgeführte Behandlung sind somit nicht nachweisbar. Der Chi-Quadrat-Test bestätigt diese Aussage. Die Chi-Quadrat-Werte für alle betrachteten Merkmale Detritus, Schleifspuren, Prismenstrukturen sowie Trocknungsartefakte sind für das Signifikanzniveau von 5 % bei 3 Freiheitsgraden deutlich kleiner als 7,81. Somit ist für alle Oberflächenstrukturen eine stochastische Unabhängigkeit von der unterschiedlichen Behandlungsweise nachgewiesen.

---

#### 4. Diskussion

Die Ergebnisse dieser Studie sind in Bezug auf den Bleicheffekt sehr zufriedenstellend. Die Farbe der gebleichten Felder änderte sich deutlich, obwohl das Bleichgel insgesamt nur 6 Stunden einwirkte. Da es sich bei der vorliegenden Studie um eine in-vitro Studie handelt, können über mögliche Nebenwirkungen des Bleichens, wie zum Beispiel Gingivairritation oder vorübergehende Überempfindlichkeit der gebleichten Zähne, keine Angaben gemacht werden. Um die morphologischen Unterschiede der Schmelzstruktur in den verschiedenen Bereichen der gesamten Zahnkrone zu berücksichtigen, wurden in dieser Studie alle Schmelzproben aus dem Zentrum der Vestibularfläche jeweils eines Frontzahnes gewonnen. Dadurch sollte verhindert werden, dass das Ergebnis der Oberflächenanalyse durch die topografisch bedingte unterschiedliche Struktur des Zahnschmelzes beeinflusst wird. Zudem rotierten die 4 verschiedenen Versuchsfelder der Schmelzproben im Uhrzeigersinn. Dadurch wurde sichergestellt, dass die Kontrollgruppe jeweils dem gleichen Zahn entstammt. Folglich sind die Ergebnisse besser miteinander zu vergleichen. Die in dieser Studie gebleichten Schmelzproben wurden einem pH-Cycling über einen Zeitraum von 10 Tagen ausgesetzt. Dadurch sollten die täglichen Säureangriffe und Remineralisationsphasen, denen die Zähne in der Mundhöhle ständig ausgesetzt sind, simuliert werden. Die Betrachtung der Schmelzoberfläche mit dem REM ergab keine direkt sichtbaren schädlichen Auswirkungen der Oberfläche, die auf die Behandlung mit dem Bleichmittel zurückzuführen sein könnten. Auch die Fluoridierung hat weder die Struktur der gebleichten noch der ungebleichten Schmelzoberfläche beeinflusst.

Parallel zu dieser Studie verlief eine weitere Studie mit ähnlicher Versuchsreihe (Kewitz, 2007). Auch in dieser Arbeit wurden aus menschlichen Frontzähnen Schmelzproben hergestellt. Die Aufteilung der Felder 1 - 4 und deren unterschiedliche Behandlung im Rahmen der Versuche sowie das anschließende pH-Cycling waren identisch. Jedoch wurde in dieser Studie ein Bleichmittel, Colgate® Simply White™, verwendet, das der Patient im Drogeriemarkt oder in der Apotheke frei erwerben kann; eine vorherige Konsultation des Zahnarztes ist nicht erforderlich. Colgate® Simply White™ ist ein Bleichgel, das der Patient mit einem Pinsel zweimal täglich auf die vestibuläre

Zahnoberfläche aufträgt und für 15 Minuten einwirken lässt. Dieser Vorgang soll insgesamt einen Zeitraum von 14 Tagen umfassen. Entsprechend wurden bei dieser Studie die Felder 3 und 4 behandelt.

Die Ergebnisse der Colgate® Simply White™-Studie sind denen der Voco Perfect Bleach®-Studie sehr ähnlich. Bei einem Großteil der Schmelzproben wurde eine Aufhellung der ursprünglichen Zahnfarbe durch die Bleichmaßnahmen beobachtet. Der Farbton veränderte sich in der Colgate® Simply White™-Studie mit durchschnittlich 0,05 Farbtonstufen am wenigsten. Bei dem in der vorliegenden Studie verwendeten Bleichprodukt Voco Perfect Bleach® veränderte sich der Farbton durch die Bleichmaßnahmen um durchschnittlich 0,15 Farbtonstufen. Ausschlaggebend für die Zahnaufhellung waren sowohl in der Colgate® Simply White™-Studie als auch in der Voco Perfect Bleach®-Studie eine Zunahme der Helligkeit und eine Reduktion der Intensität der Zahnfarbe. Brunton referierte bei der ConsEuro 2003 über ein sehr gutes Aufhellungsergebnis mit dem Produkt Colgate® Simply White™ bei dem etwa 4 Vita-Farbstufen erreicht werden können (Koch, 2003). Eine so deutliche Veränderung der Zahnfarbe konnte in der Colgate® Simply White™-Studie nicht bestätigt werden. Die durchschnittliche Zunahme der Helligkeit betrug in dieser Studie 1,05 Helligkeitsstufen, eine Reduktion der Intensität wurde um durchschnittlich eine Intensitätsstufe beobachtet. Vergleicht man diese Werte mit dem durchschnittlichen Bleichergebnis der Voco Perfect Bleach®-Studie, so ist festzustellen, dass eine Veränderungen der einzelnen Dimensionen der Zahnfarbe durch die Bleichmaßnahmen bei beiden Produkten in gleicher Richtung festzustellen ist. Bei der Voco Perfect Bleach®-Studie ist diese Veränderung jedoch ausgeprägter gewesen. Hier erhöhte sich die Helligkeit der gebleichten Schmelzproben um durchschnittlich 1,75 Helligkeitsstufen und die Intensität reduzierte sich um 2,25 Intensitätsstufen. Somit kann letzteres Bleichprodukt als effektiver bezüglich seiner Aufhellungswirkung angesehen werden.

Bei beiden Studien erfolgte die Farbbestimmung subjektiv mit einem Farbring. Dies ist für einen Vorher-Nachher-Vergleich auch das übliche und anerkannte Standardverfahren. Jedoch sollten Vergleiche zur Aufhellungswirkung verschiedener Bleichsysteme nur mit standardisierten, reproduzierbaren digitalen Messungen an einem genau definierten Punkt der Zahnoberfläche erfolgen, um eine objektive Wertung der verschiedenen Produkte vornehmen zu können (Peters, 2005). Daher sind die hier

angegebenen Vergleiche zwischen der Aufhellungswirkung von Voco Perfect Bleach® und Colgate® Simply White™ als relativ zu betrachten.

Die REM-Analyse der Schmelzoberfläche ergab bei der Colgate® Simply White™-Studie verstärkt sichtbare Schmelzprismen auf den Versuchsfeldern, die zusätzlich fluoridiert wurden. Diese Erscheinung könnte mit dem sauren pH-Wert von 3,9 des verwendeten Fluoridmittels elmex® fluid in Zusammenhang stehen. Allerdings können entsprechende Rückschlüsse nicht aus der hier vorliegenden Voco Perfect Bleach®-Studie gezogen werden, obwohl zur Fluoridierung das gleiche Produkt appliziert wurde. Hingegen zeigten die REM-Bilder, dass die Anwendung des Bleichgels bei beiden Produkten offensichtlich keinen Effekt auf die Schmelzstruktur hat.

Sowohl bei der Colgate® Simply White™-Studie als auch bei der hier durchgeführten Voco Perfect Bleach®-Studie bestätigt der Chi-Quadrat-Test eine stochastische Unabhängigkeit bezüglich der auf der Schmelzoberfläche beobachteten Strukturveränderungen. Deren Verteilung lässt in beiden Studien keinen Rückschluss auf die Behandlungsweise zu. Bei einem Signifikanzniveau von 5 % muss das Chi-Quadrat für alle betrachteten Merkmale bei 3 Freiheitsgraden kleiner als 7,81 sein. Dies trifft in beiden Studien für alle Strukturmerkmale (Detritus, Schleifspuren, Prismenstrukturen, Trocknungsartefakte) zu, womit die stochastische Unabhängigkeit bewiesen ist.

Bewusst wurde in der vorliegenden Studie die subjektive visuelle Farbauswahl angewendet. Die Umgebungsbedingungen während der Farbbestimmung wurden möglichst standardisiert, erreichten jedoch nicht die von der DGZMK geforderten und schon 1995 von Helfgen beschriebenen Optimalbedingungen. So war das Tageslicht nicht ausschließlich diffuses Nordlicht zur Mittagszeit, das eine Temperatur von 5500°K misst. Ob ein optimaler Lichtwert von 1500 Lux eingehalten wurde, um für eine ausreichende Helligkeit zu sorgen (Helfgen, 1995), kann nicht beurteilt werden, da der Helligkeitswert der Umgebung bei der Farbbestimmung nicht gemessen wurde. Die restliche Umgebung zeigte jedoch eine neutrale, graue Farbe. Der Hintergrund der Schmelzproben wurde schwarz wie in der Mundhöhle gestaltet.

Bei der Farbbestimmung können sowohl Müdigkeit als auch die Stimmung des Betrachters die Auswahl beeinflusst haben. Da bekannt ist, dass die Augen bei zu langer Betrachtung eines Objektes ermüden, wurde unter diesem Wissen versucht, zügig eine Entscheidung bei der Farbwahl zu treffen. Nach wie vor ist diese subjektive



Methode das Verfahren der Wahl, da die auf dem Markt erhältlichen Farbmessgeräte die Zahnfarbe zwar objektiv bestimmen können und auch eine hohe Reproduzierbarkeit der Ergebnisse aufweisen. Allerdings sind solche Ergebnisse nicht zwingend gleichbedeutend mit der subjektiven visuellen Farbabmusterung wie sie der Mensch empfindet. Da der Mensch sich selbst betrachtet, bzw. andere Menschen ihn betrachten und keine „Maschinen“, ist die visuelle Farbnahme zurzeit immer noch ein anerkanntes Verfahren und sogar der maschinellen Messung vorzuziehen (Faber, 2002). Aus diesem Grund wurde in der vorliegenden Studie diese Methode bevorzugt.

Heutzutage existiert in der wissenschaftlichen Literatur bereits eine Vielzahl an Studien zum Thema Zahnbleichen. Bei vielen Untersuchungen wurden noch nicht durchgebrochene Weisheitszähne (de Oliveira et al., 2003) genutzt. Dass jedoch die Oberflächenmorphologie von durchgebrochenen und nicht durchgebrochenen Zähnen verschieden ist, zeigten v. a. Spalding und Mitarbeiter in ihrer Studie. Bei den durchgebrochenen Zähnen wurden deutlich vermehrt Kratzer und Schleifspuren als ein Zeichen von „Abnutzung“ festgestellt (Spalding et al., 2003). Dieses Ergebnis ist kongruent mit der Beobachtung in der vorliegenden Studie. In dieser wurden, wie bereits erwähnt, ausschließlich durchgebrochene Zähne verwendet. Auf 90 % aller rasterelektronenmikroskopisch untersuchten Proben wurden Schleifspuren gesichtet, wenn auch nicht auf jedem Versuchsfeld. In anderen Studien wurden extrahierte Molaren (White et al., 2003) oder Rinderzähne (Attin et al., 1997; Attin et al., 2003a) für die Versuche verwendet. Obwohl bereits in den 80er Jahren durch Davidson et. al. (1973) sowie ten Cate und Arends (1977) herausgefunden wurde, dass die chemische Zusammensetzung des Rinderschmelzes dem menschlichen Zahnschmelz ähnelt und Rinderzähne geeigneter Ersatz zur Auswertung von Veränderungen der mineralischen Zusammensetzung für menschliche Zähne darstellen, sollte in dieser Studie kein Kompromiss eingegangen werden. Deshalb wurden ausschließlich menschliche extrahierte Frontzähne verwendet, da diese in der Regel auch in situ die zu bleichenden Zähne sind. Zwar sind extraktionswürdige Zähne sicherlich nicht die Zähne, die aufgehellt werden sollten, aber in dieser Studie wurden nur gut erhaltene, gesunde und nicht kariöse Zähne zu Schmelzproben weiterverarbeitet. Man kann annehmen, dass diese Zähne aufgrund einer parodontologischen Erkrankung oder aus strategischen

Gründen bei der prothetischen Planung entfernt wurden. Über den genauen Grund für die Extraktion, das zugehörige Patientenalter und damit das Alter der Zähne, lassen sich nur Vermutungen anstellen, da diese Aspekte beim „Sammeln“ der Frontzähne für diese Studie nicht festgehalten wurden.

Zwischen den einzelnen Bleichvorgängen fand die Lagerung der Schmelzproben in künstlichem Speichel nach Sissons et al. (1991) bei einem pH-Wert von 6,72 statt. Auch Attin verwendete in seiner Studie von 2003 künstlichen Speichel, welcher einen leicht saureren pH-Wert mit 6,4 hatte. Dieser diente zur Remineralisation und enthielt 1,53 m mol Kalzium und 4,82 m mol anorganische Phosphate sowie weitere Bestandteile. In anderen Studien wurde auch durch Paraffinkauen stimulierter menschlicher Speichel verwendet. Der Bleichvorgang selbst wurde in einer „feuchten Kammer“ durchgeführt. Durch diese Maßnahmen sollte zum einen die in-vivo Situation möglichst gut nachgeahmt werden. Zum anderen sollte dadurch die temporäre lokale Dehydratation der Zahnhartsubstanz durch das Bleichmittel kompensiert bzw. vermieden werden (White et al., 2003).

In der vorliegenden Arbeit betrug die Bleichdauer insgesamt 6 Stunden. Um die Farbentwicklung der gebleichten Felder besser beobachten zu können, wurden die Schmelzproben an 3 aufeinander folgenden Tagen für jeweils 2 Stunden behandelt. Dieses Vorgehen führt vermutlich zu einem deutlicheren Bleicheffekt, als wenn das Bleichprodukt für 6 Stunden am Stück appliziert worden wäre. Denn hierzu ist in der Literatur zu lesen, dass die Wirkstoffkonzentration des Carbamidperoxids bzw. des Wasserstoffperoxids in den Schienen nach 1 bis 2 Stunden deutlich absinkt. Daher ist eine Einwirkdauer des Bleichmittels von einer Stunde pro Tag völlig ausreichend. Eine längere Applikation steigert nicht den Bleicherfolg (Koch, 2003). Allgemein gilt ein Bleichmittel als wirksam, wenn bei 50 % der Patienten auch 6 Monate nach Therapieende noch ein deutlicher Aufhellungseffekt wahrzunehmen ist (Attin et al., 2001). Aufgrund des Aufbaus dieser Studie kann die Langzeitwirkung nicht beurteilt werden. Des Weiteren soll ein Bleichmittel, um als wirksam zu gelten, auf der Helligkeitsskala die ursprüngliche Zahnfarbe um mindestens 2 Helligkeitsstufen aufhellen (Attin et al., 2001). In dieser Studie erreichten 55 % der Proben eine Aufhellung um 2 Stufen, 15 % um 3 Stufen. Damit zeigen insgesamt 70 % aller Proben

einen deutlichen Bleicheffekt. Insgesamt konnte jedoch nur eine Erhöhung der Helligkeit um 1,75 Helligkeitsstufen festgestellt werden. Somit erreicht Voco Perfect Bleach® in dieser Studie nicht die von der American Dental Association geforderten 2 Helligkeitsstufen, um eindeutig als wirksames Bleichmittel bezeichnet werden zu können. Zudem sollte noch bedacht werden, dass die hier verwendeten Schmelzproben sehr klein sind und aus der Mitte eines Frontzahns stammen. Lenhard konnte in einer in-vitro Studie zeigen, dass die Zahnaufhellung im inzisialen Bereich des Zahnes am deutlichsten ausgeprägt ist und über den mittleren Bereich nach zervikal hin abnimmt (1996). Daher ist davon auszugehen, dass im inzisialen Bereich ein noch deutlicherer Aufhellungseffekt zu erwarten ist. Dies lässt vermuten, dass in-vivo das subjektive Empfinden über den Erfolg der Bleichtherapie noch positiver ausfällt, da der Patient zum einen eine größere Fläche betrachtet und zum anderen die inzisialen Bereiche sich noch erfolgreicher aufhellen lassen.

Eine in-vivo Studie verglich die Wirkung von verschiedenen stark konzentrierten Carbamidperoxidgelen für die Schienenapplikation (Braun et. al., 2007). Eine Woche lang wurde die Schiene täglich für 2 Stunden getragen. Dies entspricht einer Wirkdauer von insgesamt 14 Stunden. Den Patienten wurden Kanülen mit entweder 0-, 10- oder 17%igem konzentriertem Bleichgel mitgegeben. Nach 3 Tagen konnte eine erste Farbaufhellung der Zähne beobachtet werden, die mit 17%igem Gel behandelt wurden. Nach einwöchiger Behandlung mit 10%igem bzw. 17%igem carbamidperoxidhaltigen Bleichgel war bei beiden Produkten ein identisches Ergebnis in der Zahnaufhellung festzustellen. 2 Wochen nach Ende der Bleichtherapie wurde zudem eine leichte Verdunklung der Zähne beobachtet. Diese Erscheinung wurde allerdings in der vorliegenden Studie nicht festgestellt. Die Farbe der gebleichten Felder war in diesem Fall auch nach dem 10-tägigen pH-Cycling unverändert. Dies hängt möglicherweise damit zusammen, dass es sich bei der vorliegenden Studie um eine in-vitro Studie handelt und die Schmelzproben in den folgenden Tagen nach dem Bleichen keinen färbenden Lebens- und Genussmitteln ausgesetzt waren. Dennoch waren auch in der in-vivo Studie die gebleichten Zähne noch deutlich heller als die der Kontrollgruppe. Vor allem eine Änderung der Farbhelligkeit und der Farbintensität war zu beobachten. Die Farbveränderung wurde sowohl durch subjektive Beobachtung als auch durch spektrofotometrische Analyse bestimmt. Durch letztere wurden variable Parameter bei

der visuellen Farbbestimmung, wie individuelle Wahrnehmung, Umgebungslicht sowie Tageszeit, ausgeschlossen. Die Werte für die Farbhelligkeit, Chroma und Farbton werden durch den Computer des Systems bestimmt. So belegte diese Studie, dass höherprozentiges Carbamidperoxid schneller zu einer Aufhellung der Zähne führt. Da jedoch das Endergebnis nach einer Woche gleich ist, sollte aufgrund der potenziellen Nebenwirkungen und Hypersensitivitäten dem Bleichgel mit der niedrigen Konzentration der Vorzug gegeben werden. Zumal ist auch erwiesen, dass die Peroxidkonzentration in der Pulpenkammer proportional zu der Konzentration im Bleichmittel ist (Braun et al., 2007).

Die Analyse mit dem REM ist eine Methode, um die Oberflächenmorphologie von verschiedenen Proben zu untersuchen (Schemehorn et al., 2004). Daher wurde auch hier dieses Verfahren angewendet, um mögliche ultrastrukturelle Veränderungen der Schmelzoberfläche aufgrund der durchgeführten Bleichmaßnahmen zu entdecken. Dass die Sensitivität einer rasterelektronenmikroskopischen Untersuchung zur Bewertung von ultrastrukturellen Veränderungen der Schmelzoberfläche nicht nur ausreichend, sondern auch geeignet ist, zeigt eine Abbildung in einer Studie von White et al. (2003). Dort sind die erosiven Folgen auf die Zahnhartsubstanz nach Exposition einer Schmelzprobe in Cola Light für 5 Minuten deutlich zu erkennen (White et al., 2003). Die rasterelektronenmikroskopische Untersuchung erfolgte in dieser, sowie auch in den meisten anderen in der Literatur zu findenden in-vitro Studien mit der direkten Methode. Nur selten wurde bei in-vivo Studien über die Anwendung der indirekten Technik berichtet. Diese Methode mit Abdrucknahme und mikroskopischer Auswertung eines Epoxidharzmodelles beinhaltet häufig zahlreiche Fehlerquellen (Auschill et al., 2002). Aus diesem Grund und auch, weil der Aufbau der vorliegenden Studie das direkte Verfahren ermöglicht, wurde diese Methode vorgezogen. Die American Dental Association empfiehlt für die rasterelektronenmikroskopische Untersuchung von Schmelzoberflächen eine 200-fache und 2000-fache Vergrößerung (White et al., 2003). Es stellte sich auch in dieser Studie heraus, dass sich die 2000-fache Vergrößerung zur Auswertung der Schmelzproben am besten eignete.

Diverse Studien in der Literatur belegen, dass es bei ordnungsgemäßer Anwendung des Carbamidperoxidgels zu keinen klinisch sichtbaren Schäden der Zahnhartsubstanz kommt. Rasterelektronenmikroskopisch wurden in der Literatur in wenigen Studien

geringfügige Veränderungen der Zahnhartsubstanz, wie örtliche Dekalzifizierungserscheinungen und Schmelzporositäten beobachtet (Attin et al., 1997; Attin, 1998; Attin et al., 2001; Attin et al., 2003a). Leonhard et al. konnten in einer Langzeit-in-vivo-Studie von 2001 jedoch zeigen, dass die leichten Veränderungen der Schmelzoberfläche nach rasterelektronenmikroskopischer Untersuchung auch nach einem Zeitraum von 6 Monaten nicht verstärkt wurden. Diese leichten mikrostrukturellen Defekte und Veränderungen des Schmelzes und Dentins durch die Behandlung mit 10%igem Carbamidperoxid, können in der Regel jedoch durch Speichelkomponenten wieder „repariert“ werden (Attin et al., 2003a).

Bitter weist in einer in-vivo durchgeführten Studie auf den Verlust der aprismatischen Schmelzschicht sowie die Freilegung der Schmelzprismen nach einer Bleichtherapie hin (Hopp und Biffar, 2004). Auch Spalding und Mitarbeiter beobachteten die Zunahme der „Löcher“ in der Schmelzoberfläche, allerdings nach 30-minütiger Anwendung von 35%igem Wasserstoffperoxid. Die Autoren erklären dies durch einen Abtrag der oberflächlichen Schmelzschicht, wodurch eine erhöhte Anzahl an Tomesschen Fortsätzen zum Vorschein kommt. Solche „Löcher“ wurden in der vorliegenden Studie nicht beobachtet. Allerdings war die hier verwendete Wirkstoffkonzentration des Bleichmittels auch deutlich geringer. Bei den in natürlichem Speichel gelagerten Proben wurde in der zuletzt beschriebenen Studie ein die Oberfläche bedeckender, körniger Mantel aus kleinen Partikeln und runden Kügelchen beobachtet. Die Autoren führen dies auf den Remineralisationseffekt des Speichels zurück (Spalding et al., 2003). Ähnliche Ablagerungen wurden auch auf den Proben dieser Studie beobachtet. Wie in den Ergebnissen beschrieben, fand sich hier solcher Detritus auf 100 % aller Proben und Felder.

In einer anderen in-vitro Studie wurden 6 verschiedene Bleichmittel auf ihre Effekte bezüglich Veränderungen der Mikrohärtigkeit, Rauigkeit und Oberflächenmorphologie untersucht. Extrahierte Weisheitszähne wurden dabei für die Versuche verwendet. Unter den verwendeten Produkten waren auch 2 verschiedene, die als Wirkstoff 10%iges Carbamidperoxid enthielten. Einmal täglich wurden diese Produkte für 6 Stunden jeweils für 5 bzw. 14 Tage angewendet. 0,1 ml des Bleichmittels wurden mit 0,05 ml künstlichen Speichels vermischt. Bei der rasterelektronenmikroskopischen Untersuchung wurde die Veränderung des Zahnschmelzes in 3 Gruppen eingeteilt: keine Veränderungen, leichte

Veränderungen der Oberfläche im Sinne von Rauigkeiten und unregelmäßigen Mustern durch die Behandlung sowie veränderte Schmelzoberflächen, die einen Verlust von oberflächlichen Strukturen zeigen. Die mit beiden 10%-carbamidperoxid-enthaltenden Produkten gebleichten Schmelzoberflächen zeigten bei der rasterelektronenmikroskopischen Betrachtung eine leichte Auflösung der interprismatischen Substanz, wodurch das Schmelzwabenmuster erkennbar wurde (Pinto et al., 2004). In der vorliegenden Studie wurden auf 30 % aller Proben solche Prismenstrukturen rasterelektronenmikroskopisch erkannt, jedoch konnten, für das Entstehen dieser Strukturen nicht die Bleichmaßnahmen als Ursache ausgemacht werden, da dieses Erscheinungsbild auch auf den unbehandelten Kontrollflächen auftauchte.

Sowohl Shannon als auch Attin et al. konnten in ihren Studien Folgendes nachweisen: Je stärkere Veränderungen auf der Schmelzoberfläche beobachtet wurden, desto saurer war der pH-Wert des verwendeten Bleichmittels (Attin et al., 2003a). Das in dieser Studie verwendete Voco Perfect Bleach<sup>®</sup> hat nach Herstellerangaben einen pH-Wert von 6,0. Damit liegt es zwar im sauren Bereich, jedoch nah an der neutralen Grenze (pH-Wert 7,0). Bitter (1992) beobachtete Dekalzifikationen und eine vermehrte Porosität der Schmelzoberfläche bei den REM-Bildern seiner Schmelzproben. Jedoch wurden die Proben zum Teil auch mit einer Lösung vorbehandelt, die unter anderem Zitronensäure enthält, sodass die Veränderungen der Schmelzoberfläche durchaus auch auf diese Vorbehandlung zurückgeführt werden können.

In anderen Studien hingegen konnten rasterelektronenmikroskopisch keine Strukturveränderungen des Zahnschmelzes festgestellt werden (Attin et al., 1997; Attin, 1998; Attin et al., 2001; Attin et al., 2003a). Keine Unterschiede in der Ultrastruktur zwischen gebleichtem und ungebleichtem Schmelz fanden Gultz et al. (1999) sowie Haywood et al. (Attin et al., 2003a). Nach 14-tägiger Anwendung eines 10%igen Carbamidperoxidgels wurden von Leonhard et al. rasterelektronenmikroskopische Aufnahmen der Zahnoberfläche angefertigt. Dabei wurden leichte Veränderungen der Zahnoberfläche festgestellt, die sich jedoch innerhalb der folgenden 6 Monate nicht verstärkten. Vergleichbare Veränderungen des Zahnschmelzes wurden auch bei ungebleichten Placebo-Präparaten gefunden. Diese Schmelzspuren sind möglicherweise auch auf übertriebene Hygienemaßnahmen des Patienten zurückzuführen (Attin et al., 2002). In

einer in-vitro Studie von White et al. wurden verschiedene Bleichmittel mit verschiedenen Konzentrationen (auch ein 10%iges Carbamidperoxid) bezüglich ihrer Auswirkungen auf die Schmelzoberflächen hin untersucht. Da es sich bei den Produkten um „Home-Bleaching“-Präparate handelte, wurde zusätzlich ein potenzieller Missbrauch durch den Patienten und eine überhöhte Behandlungsdauer bzw. Anwendung des Produktes für bis zu 70 Stunden mit einkalkuliert. Die rasterelektronenmikroskopische Untersuchung zeigte jedoch auch bei den dadurch „überbleichten“ Zähnen keine ultrastrukturellen Veränderungen (White et al., 2003).

In einer in-vitro Studie von Auschill und Mitarbeitern (2002) wurden die Effektivität verschiedener Bleichtechniken und deren Auswirkungen auf die Schmelzoberfläche an extrahierten Frontzähnen rasterelektronenmikroskopisch untersucht. Dabei wurden die benötigten Aufhellungszyklen bestimmt, die zu einer definierten Zahnaufhellung führen. Die schnellste Aufhellung wurde mit einem Bleichprodukt (35 % Wasserstoffperoxid) erreicht, das mit der In-Office-Methode angewendet wurde, gefolgt von einem Produkt der Home-Bleaching-Methode. Dieses enthält als Wirkstoff 10%iges Carbamidperoxid. Mit großem Abstand folgten zuletzt die sogenannten White-Strips (5,3 % Wasserstoffperoxid), ein Over-the-Counter Produkt. Das Ziel wurde zwar bei allen Methoden erreicht, der entsprechende Zeitaufwand war jedoch stark unterschiedlich. Die, wie auch in der vorliegenden Studie, bei 2000-facher Vergrößerung rasterelektronenmikroskopisch untersuchten Schmelzproben zeigten bei keiner der verschieden angewandten Techniken und Produkte erkennbare Oberflächenveränderungen. Verglichen wurden die gebleichten Felder sowohl mit einer positiven, unbehandelten Kontrolle als auch mit einer negativen, mit Phosphorsäure geätzten Fläche des gleichen Zahnes. Die in dieser Studie verwendeten Bleichmittel hatten alle einen unterschiedlichen, aber sauren pH-Wert (4,5; 5,8 und 6,0). Aufgrund der rasterelektronenmikroskopischen Ergebnisse schließen die Autoren einen Zusammenhang zwischen dem pH-Wert des Bleichmittels und dessen Auswirkungen auf die Schmelzoberfläche aus (Auschill et al., 2002). Dies widerspricht der Annahme von Attin und Mitarbeitern, die durchaus einen Zusammenhang zwischen den strukturellen Veränderungen der Schmelzoberfläche nach den Bleichmaßnahmen und dem pH-Wert des Bleichmittels vermuten.

In einer anderen Studie wurde an extrahierten menschlichen Prämolaren nicht nur die Oberflächenmorphologie des Zahnschmelzes nach Bleichmittelapplikation untersucht, sondern auch deren Auswirkungen auf das Dentin und das Zement. Dabei wurde das Ergebnis deutlich vom verwendeten Produkt bestimmt. Die 10%ige Carbamidperoxidlösung führte zu keinen strukturellen Veränderungen der Schmelzoberfläche. Im Dentin waren mäßige (Rauigkeiten und angeätzte Oberfläche), im Zement nur leichte Veränderungen der Oberflächenmorphologie ersichtlich. Hingegen zeigten sich bei allen 3 Zahnhartsubstanzen schwerwiegende Veränderungen der Oberflächenmorphologie nach Einwirkung von stark saurer Wasserstoffperoxid-Lösung (30 %). Ebenso wurden 3 „fertige“ Bleichgele getestet, deren pH-Werte zwischen 6,0 und 6,5 lagen. Zum Teil wurden auch bei diesen Mitteln ebenso starke Oberflächenveränderungen beobachtet wie bei der 30%igen Wasserstoffperoxid-Lösung. Daher kommen die Autoren der Studie zu dem Schluss, dass die ultrastrukturellen Veränderungen der Oberfläche nach Einwirkung der Bleichprodukte nicht ausschließlich auf deren pH-Wert zurückzuführen ist und widersprechen damit einigen anderen Studien (Zalkind et al., 1996).

Eine Untersuchung von Lopes und Mitarbeitern zeigt ebenfalls die Auswirkungen von 10%igem Carbamidperoxid sowie dessen Zerfallsprodukten (3%iges Wasserstoffperoxid und 7 % Harnstoff) auf die Schmelzoberfläche. Bei der Verwendung von einem 10 % Carbamidperoxid enthaltenden Home-Bleaching-Produkt stellten sich nach einer Einwirkzeit von insgesamt 42 Stunden (3 Stunden täglich über einen Zeitraum von 14 Tagen) keinerlei Veränderungen der Oberflächenmorphologie dar. Lediglich die direkte Wirkung von 3%igem Wasserstoffperoxid verursachte, wenn auch nicht gleichmäßig über die gesamte Fläche verteilt, Zonen mit leichten Erosionserscheinungen (Lopes et al., 2002).

Auch Oltu und Gurgan zeigten, dass niedrigkonzentriertes Carbamidperoxid (sowohl 10 % als auch 16 %), selbst bei einer langen Therapie (8 Stunden täglich, für 6 Wochen), zu keinen Veränderungen der Ultrastruktur in der Schmelzoberfläche führt. Hingegen waren beim hochkonzentrierten 35%igen Carbamidperoxid selbst bei nur einer kurzen Wirkzeit (30 Minuten täglich für 4 Tage) Veränderungen der Schmelzoberfläche zu beobachten (Oltu und Gurgan, 2000).

White et al. testeten in einer in-vitro Studie die Auswirkungen verschiedener externer Bleichmittel an menschlichen Molaren. Die rasterelektronenmikroskopische Untersu-



chung der Schmelzoberfläche zeigte bei keinem der Produkte Hinweise auf schmelzzerstörende Effekte, auch nicht bei überhöhter Anwendung der Produkte, dem sogenannten „Overbleaching“ (White et al., 2003).

Ein Grund für die unterschiedlichen, zum Teil auch gegensätzlichen Ergebnisse bezüglich der Oberflächenmorphologie des gebleichten Zahnschmelzes, die in der Literatur zu finden sind, kann durch einen unterschiedlichen Aufbau der Studien erklärt werden. Aber auch aus der Verwendung verschiedener Bleichmittel, die sich vor allem durch ihre Konzentration (bis zu 35 %) und durch ihren pH-Wert (3,67 - 11,13) unterscheiden, können differierende Ergebnisse resultieren (Schemehorn et al., 2004).

McCracken und Haywood untersuchten den Kalziumverlust des Zahnschmelzes, nachdem entsprechende Schmelzproben für 6 Stunden einer 10%igen Carbamidperoxidlösung ausgesetzt wurden. Dabei wurde ein Kalziumverlust von 1,06  $\mu\text{g}/\text{mm}^2$  festgestellt. Dieser Verlust war deutlich größer als der Verlust der Kontrollgruppe, welche ausschließlich Wasser ausgesetzt wurde. Zum Vergleich wurden einige Proben einem sauren Erfrischungsgetränk für 2,5 Minuten ausgesetzt. Diese Zeit entspricht derjenigen, die benötigt wird, um ein 16 oz (etwa 473 ml) Getränk zu trinken. Bei diesem Versuch wurde ein Kalziumverlust des Zahnes von etwa 1  $\mu\text{g}/\text{mm}^2$  festgestellt. Daher folgerten die Autoren, dass es zwar zu einem Kalziumverlust der Zahnhartsubstanz durch das Bleichmittel kommt, dieser jedoch klinisch nicht signifikant und nicht stärker als nach dem Konsum eines sauren Erfrischungsgetränkes ist (McCracken und Haywood, 1996). Gebleichter Zahnschmelz soll etwas leichter kariesanfällig sein als ungebleichter, der Unterschied hierbei ist jedoch nicht bedeutsam. Allerdings existieren in der Literatur nur wenige Studien, die darüber Aufschluss geben, wie mit Carbamidperoxiden gebleichter Zahnschmelz auf erosive Einflüsse reagiert. Ganss und Mitarbeiter fanden heraus, dass mit 10%igem Carbamidperoxid gebleichter Zahnschmelz nicht anfälliger auf Säureattacken reagiert als ungebleichter. Auch die durch die erosiven Angriffe möglichen Oberflächenveränderungen des Zahnschmelzes unterschieden sich in beiden Gruppen nicht. Die Proben wurden nach 96-stündiger Bleichtherapie einmalig einem Säureangriff ausgesetzt, wobei dies nicht der Realität in der Mundhöhle entspricht. Da bekanntlich eine hohe Häufigkeit von erosiven Einflüssen zu Veränderungen der Schmelzoberfläche führt, sollte dieses Ergebnis skeptisch

betrachtet und hinterfragt werden. Einen Rückschluss, wie gebleichter Schmelz wohl auf mehrere erosive Angriffe reagiert, kann aus dieser Studie nicht gezogen werden (Attin et al., 2003a). Aus diesem Grund wurden in der vorliegenden Arbeit die bearbeiteten Schmelzproben nach dem Bleichvorgang einem pH-Cycling ausgesetzt. Zwar erfuhren die Proben dabei nicht nach jedem Bleichtag verschiedene De- und Remineralisationsphasen, so wie es in der Mundhöhle in-vivo der Fall ist, jedoch wurde dies nach Abschluss der Bleichbehandlung über einen längeren Zeitraum von 10 Tagen nachgeholt.

Die Zwischenlagerung der Schmelzproben im künstlichen Speichel diente nicht nur dazu das Mundhöhlenmilieu nachzuahmen. Diverse in-vitro Studien haben bewiesen, dass künstlicher Speichel ein effektives Mittel zur Remineralisation bzw. zum Wiedererhärten erweichten Zahnschmelzes darstellt (Attin et al., 2003a). Somit hatten die in dieser Studie verwendeten Schmelzproben direkt im Anschluss an die Bleichtherapie für etwa 22 Stunden die Möglichkeit zur Remineralisation.

In einer von Attin und Mitarbeitern durchgeführten Studie wurden verschiedene Carbamidperoxidgele, die sich durch ihren pH-Wert (5,7 oder 7,0) unterschieden, miteinander verglichen. Zudem waren jeweils 2 Gelproben auch noch zusätzlich fluoridiert. Das Bleichgel wirkte für 8 Stunden ein. Im Anschluss an die Bleichtherapie wurde eine 2-stündige Remineralisationsphase in künstlichem Speichel angeschlossen, gefolgt von einer 90-sekündigen Demineralisationsphase. Hierzu wurde 1%ige Zitronensäure mit einem pH-Wert von 2,2 verwendet, die den Konsum von säurehaltigen Nahrungsmitteln imitieren sollte. Zitronensäure ist Bestandteil vieler säurehaltiger Getränke, hat ein erosives Potenzial und ist somit in der Lage, die Oberfläche von Zahnhartsubstanzen zu erweichen. Dieser Zyklus wurde dreimal hintereinander wiederholt. Das Ergebnis dieser Studie zeigt, dass fluoridiertes Bleichgel mit neutralem pH-Wert am wenigsten zu einer Erweichung der Zahnhartsubstanz führt (Attin et al., 2003a). Eine andere Studie hat gezeigt, dass eine auf den Zähnen vorhandene Pellikel-Schicht deutlich das Ausmaß der erosiven Zerstörung der Schmelzoberfläche reduziert. Dies ist jedoch wiederum abhängig von der Dauer und der Konzentration des erosiven Agens auf die Schmelzoberfläche (Nekrashevych et al., 2004). Somit kann die Pellikel-Schicht auch eine Erklärung für die guten rasterelektronenmikroskopischen Ergebnisse der vorliegenden Studie sein. Durch die Zwischenlagerung der hier untersuchten Proben

in künstlichem Speichel konnte sich auf der Oberfläche eine schützende Pellikel-Schicht bilden. In-vivo ist dieser Schutzeffekt vermutlich sogar noch besser, da in diesem Fall ein echtes natürliches Pellikel die Schmelzoberfläche bedeckt.

Im Anschluss an die Bleichtherapie sollte in dieser Studie ein 10-tägiges pH-Cycling-Modell die verschiedenen De- und Remineralisationsphasen in der Mundhöhle nachbilden. Dadurch kam es sowohl zu einer Auflösung als auch zur Repräzipitation des Mineralanteils der Zahnhartsubstanz. In der Literatur findet man unterschiedliche Zeiten für die verschiedenen Phasen. Die Demineralisationszeit variiert zwischen 3 und 6 Stunden. Auch wenn das hier verwendete pH-Cycling-Modell in der Literatur schon oft beschrieben wurde, muss es dennoch kritisch betrachtet werden. Die Kritik ist allerdings generell und trifft auf alle in-vitro Studien zu, da organische Komponenten, Enzyme und plaquebildende Mikroorganismen, die Einfluss auf den pH-Wert in der Mundhöhle nehmen, in diesen Studien nicht oder nur unzulänglich berücksichtigt werden (ten Cate, 1990). Zudem sind die Zähne in der Mundhöhle mehrfachen De- und Remineralisationsphasen ausgesetzt, was sich durchaus anders auf die Zahnhartsubstanz auswirken kann, als die 2 hier nachträglich ausgeübten langen Phasen. Das in dieser Studie verwendete pH-Cycling-Modell wurde ursprünglich von ten Cate and Duijsters 1982 beschrieben, aber durch Featherstone und Mitarbeiter 1986 leicht modifiziert. Die Remineralisationslösung, die über 17 Stunden einwirkte, ist eine übersättigte Kalzium-Phosphat-Lösung. Ihr Sättigungsgrad entspricht in etwa dem Mineralgehalt des Speichels. Angewendet wurde es nicht - wie von Featherstone beschrieben - über einen Zeitraum von 14 Tagen, sondern lediglich für 10 Tage. Dieses Modell kombiniert Phasen des Säureangriffes mit „Reparationsphasen“ zum Remineralisieren der Läsionen im Zahnschmelz. Ergebnisse dieses pH-Cycling-Systems können mit angemessener Vorsicht als Vorläufer für klinische Studien gesehen werden (Featherstone et al., 1990). Die unterschiedlich niedrigen und hohen pH-Werte wechseln sich periodisch ab. In-vivo hängt die Kariogenität von den individuellen Essgewohnheiten des Menschen ab. Es ist jedoch auch bekannt, dass ein niedriger pH-Wert auch noch länger innerhalb des Zahnschmelzes verbleibt, selbst nachdem die Säure in der Plaque schon entfernt oder neutralisiert wurde. Daher wurden von ten Cate und Duijsters (1982) 2 verschiedene Zeiten (3 Stunden und 8 Stunden) für die Demineralisation eingeplant, welche auf der einen Seite einen niedrigen und seltenen Konsum von kariogenen Lebensmitteln und

zum anderen einen hohen Konsum simulieren sollten. Das gesamte Demineralisationsintervall sollte die Summe aller pH-Abfälle in der Plaque auf der Schmelzoberfläche imitieren. Daher scheint der Gesamtwert mit 3 bis 8 Stunden realistisch. Der grösste Unterschied zur in-vivo Situation ist tatsächlich die Häufigkeit der pH-Wechsel innerhalb von 24 Stunden (ten Cate und Duijsters, 1982). In der vorliegenden Studie wurde absichtlich die längere Demineralisationsphase gewählt, um die Schmelzproben einer härteren Prüfung zu unterziehen. Zur Wirksamkeit dieses Systems haben weitere Studien ergeben, dass starke Demineralisationserscheinungen auf der Schmelzoberfläche beobachtet werden können, wenn die Zähne ausschließlich der Demineralisationslösung ausgesetzt sind. Wurden die Proben anschließend in eine Remineralisationslösung gelegt, so zeigten sich seichtere Läsionen mit weniger Demineralisation des Zahnschmelzes. Bei zusätzlicher Fluoridapplikation wiesen die Proben nur minimale bis gar keine Demineralisationserscheinungen auf (ten Cate et al., 1988). Zur Demineralisation wurde ein Acetat-Puffer mit Zusätzen mit einem pH-Wert von 4,4 nach ten Cate und Mitarbeitern angesetzt. Sie haben in diversen Arbeiten nachgewiesen, dass dies eine adäquate Lösung ist, um die erosiven Situationen in der Mundhöhle nachzuahmen. Schließlich konnte hier in der REM-Analyse der Schmelzproben gezeigt werden, dass sich die Oberflächenstruktur des gebleichten Schmelzes durch das pH-Cycling nicht anders darstellt, als die des ungebleichten Schmelzes.

Jedoch wurden die Proben nicht nur einem zusätzlichen pH-Cycling nach den Bleichmaßnahmen ausgesetzt, sondern das Experiment sollte auch zeigen, wie sich eine anschließende Fluoridierung mit einem lokal zu applizierenden Mittel auf die Oberfläche auswirkt. Grundsätzlich ist erwiesen, dass Fluoride hoch effektiv sind und die mineralische Balance zu einer weniger kariesanfälligen Situation überführen können (ten Cate, 1990). Ihre Wirkung ist zweigeteilt: Zum einen hemmen sie die Demineralisation der Kristalle auf der Zahnoberfläche und zum anderen fördern sie die Remineralisation des Zahnschmelzes. Wie sich dieses Verhalten auf die Oberflächenmorphologie des Zahnschmelzes auswirkt, wurde ebenfalls rasterelektronenmikroskopisch in einer Studie von Nelson et al. (1983) nach Applikation verschiedener lokaler Fluoridprodukte untersucht. Abhängig vom pH-Wert der Lösung wurde die Schmelzoberfläche unterschiedlich stark angegriffen. Die Autoren sahen jedoch die Wirkung des Fluorid-

produktes, das mehr Schmelzprismen freilegte, also ein saures, als effizienter an, da die  $\text{CaF}_2$ -Kristalle dort besser haften können als auf einer glatten Schmelzoberfläche (Nelson et al., 1983). Ein solcher Fluoridmantel aus kleinen Kügelchen, der die Schmelzoberfläche bedeckt (wie er auf den Bildern in der zuletzt genannten Studie zu erkennen ist), wurde in der hier durchgeführten Studie auf den fluoridierten Flächen der Schmelzproben nicht beobachtet, obwohl eine saure Fluoridlösung, elmex® fluid, mit einem pH-Wert von 3,9 verwendet wurde. Das hängt vermutlich damit zusammen, dass in dieser Studie die rasterelektronenmikroskopische Untersuchung nicht direkt im Anschluss an die Fluoridierung erfolgte, sondern das 10-tägige pH-Cycling eingeschaltet war. In dieser Zeit wurde der Fluoridfilm wahrscheinlich wieder weggespült. Solch ein durch lokale Fluoridierung erzeugter Mantel auf der Schmelzoberfläche bleibt nicht permanent, sondern hält in der Regel nur wenige Tage, selten für ein paar Wochen (Nelson et al., 1983).

Den Ergebnissen dieser Arbeit zufolge und nach Vergleichen dieser mit ähnlichen in der Literatur zu findenden Studien, stellt sich die Frage, inwieweit diese in-vitro Ergebnisse auf die klinische Situation zu übertragen sind. Demnach kann Voco Perfect Bleach® 10 %, das mittels einer individuell angefertigten Schiene klinische Anwendung findet, als empfehlenswertes Bleichmittel angesehen werden. Vorteil der konventionellen Schienentherapie ist die geringere intraorale Freisetzung von Wasserstoffperoxid und geringere Weichgewebsbelastung im Vergleich zu den Foliensystem-Produkten, wie Hannig feststellte. Daher ist die Bleichtherapie mit individuell gefertigten Schienen anderen Verfahren vorzuziehen (Koch, 2003). Untersuchungen, ob Bleichschienen mit oder ohne Reservoir für das Bleichgel effektiver sind, zeigten, dass in ihrer klinischen Wirksamkeit keine Unterschiede festzustellen sind. Allerdings ist die Menge des verschluckten Bleichgels bei Schienen ohne Reservoir größer (Attin et al., 2002). Darüber hinaus hat sich auch gezeigt, dass Zähne, die bei einer Bleichtherapie mit einer Schiene mit Reservoir gebleicht wurden, ein helleres Resultat lieferten als Zähne, deren Schiene kein Reservoir hatte. Diese Beobachtung konnte allerdings nur mit einem Kolorimeter gemessen werden. Das menschliche Auge kann in diesem Bereich keinen Unterschied feststellen (Braun et al., 2007). Demzufolge sollten die Bleichschienen mit

Reservoir gestaltet werden. Ein entsprechendes Block-Out-Gel ist in dem Voco-Perfect-Bleach-Set enthalten.

Die Verwendung dieses Produktes kann befürwortet werden, da es zum einen in der Regel schon nach einmaliger Anwendung des Bleichmittels zu einem deutlichen Behandlungserfolg, nämlich einer sichtbaren Aufhellung der Zahnfarbe kommt. Zum anderen hat diese Studie bewiesen, dass das Bleichgel der Schmelzoberfläche nicht schadet bzw. Säureangriffe im Alltag die gebleichten Zähne nicht mehr angreifen als die ungebleichten Zähne. Zudem ist die Behandlung mit Voco Perfect Bleach<sup>®</sup> 10 % nur bei gleichzeitiger Betreuung durch einen Zahnarzt möglich. So kann der Zahnarzt zu Beginn der Behandlung prüfen, ob eine derartige Therapie überhaupt indiziert ist, oder ob noch andere vorbereitende Maßnahmen vor Beginn einer Bleichbehandlung getroffen werden müssen. Durch die ärztliche Kontrolle ist diese Form der Bleichtherapie als eine sichere Methode anzusehen. Zudem ist für den Patienten ein Ansprechpartner bei möglichen auftretenden Problemen vorhanden. Auch wenn diese Form im Vergleich zu den Over-the-Counter-Produkten mit einem deutlich höheren Zeitaufwand (Vorbehandlung, Abformung, Schiene) und höheren Kosten verbunden ist, sollte diese Therapieform dem Patienten empfohlen werden.

Auch wenn laut Herstellerangaben sogar Tetrazyklinverfärbungen mit Voco Perfect Bleach<sup>®</sup> 10 % „entfärbt“ werden können, sollte dieser Anwendungsfall kritisch betrachtet werden. Dieser Aspekt wurde zwar in der vorliegenden Arbeit nicht berücksichtigt, jedoch finden sich in der Literatur diverse Hinweise, dass sich strukturell veränderter Schmelz (Tetrazyklinverfärbungen, starke Fluorose) nur bedingt durch eine Bleichtherapie behandeln lässt. In der Regel ist in diesen Fällen eine leichte invasive Therapie mit zusätzlichem Abtrag der oberen Schmelzschicht nicht unumgänglich (Hopp und Biffar, 2004). Laut Bonness, Haywood und Heymann ist das Aufhellungsergebnis von anderen 10 % Carbamidperoxid enthaltenden Produkten bei pathologischen Verfärbungen (Tetrazyklin) nicht akzeptabel (Bonness et al., 2000).

Würde man die Studie nochmals mit einem anderen Produkt durchführen, so könnten einige Gesichtspunkte mehr im experimentellen Design der Studie berücksichtigt werden, um diese weiterzuentwickeln bzw. zu verbessern. Zum einen sollte das Alter der Zähne, die als Proben verwendet wurden, berücksichtigt werden. Dies ist ein nicht zu vernachlässigender Gesichtspunkt, da in verschiedenen klinischen Studien fest-

gestellt wurde, dass sich Zähne älterer Patienten mit einem geringeren Gelbanteil im Allgemeinen schlechter aufhellen lassen als Zähne junger Patienten mit einem hohen Gelbanteil (Attin et al., 2002). Vor diesem Hintergrund kann dann das Ergebnis der Bleichwirkung in-vivo besser eingeschätzt werden. Des Weiteren könnte die Zwischenlagerung der Schmelzproben in künstlichem Speichel zwischen den einzelnen Bleichvorgängen nicht im Kühlschrank, sondern im Brutschrank bei 37° C erfolgen. Dabei könnten zwischenzeitliche Abkühlungen der Proben, also ein Thermo-Cycling, die Mundhöhlensituation noch besser simulieren. Außerdem könnte man den Aufbau der Studie eventuell noch in soweit modifizieren, dass das pH-Cycling nicht erst nach Abschluss der Bleichbehandlung durchgeführt wird, sondern parallel verläuft, um die natürlichen Gegebenheiten der Mundhöhle noch realistischer zu imitieren.

Auch wenn zur Zeit die subjektive Farbbestimmung allgemein anerkannt ist und auch als Mittel der Wahl betrachtet wird, könnte man zusätzlich noch eine objektive Farbbestimmung mit einem Spektrofotometer vornehmen. Einige Autoren favorisieren digitale bildgebende Verfahren zur Bestimmung der Farbveränderung, da sie sensitiver sind als das menschliche Auge (Duschner, 2002). Jedoch sollte hier zur Umsetzbarkeit des Systems in die zahnärztliche Praxis bedacht werden, dass der zur objektiven Farbbestimmung notwendige apparative Aufwand eine zusätzliche und hohe Investition darstellt (Peters, 2005).

Matis et al. stellten in einer Studie fest, dass die erreichte Helligkeitsstufe 2 Wochen nach Beendigung der Bleichtherapie innerhalb der darauf folgenden 6 bis 12 Wochen weiter abnimmt. Nach 6 Monaten ist ein durchschnittlicher Verlust der Helligkeit um 45 % festgestellt worden (1998). Demzufolge wäre eine Langzeit-Studie interessant, um herauszufinden, wie lange die mit Voco Perfect Bleach® gebleichten Zähne ihre aufgehellte Farbe „erhalten“ können. Hierzu wäre allerdings empfehlenswert eine in-vivo Studie durchzuführen, um auch die für die Verfärbungen mit verantwortlichen stark färbenden Lebens- und Genussmittel einzubeziehen, und dabei gleichzeitig Attins Annahme, dass sich Farbstoffe z. B. aus schwarzem Tee nicht verstärkt in gebleichte Zahnhartsubstanz einlagern, zu belegen (Attin et al. 2003b).

Grundsätzlich sollten Zahnärzte Folgendes bedenken: Eine bei einem Patienten begonnene Bleichbehandlung kann den Anfang eines kontinuierlichen Prophylaxeprogrammes darstellen. Denn insbesondere den Patienten, denen am guten Aussehen

---

ihrer Zähne gelegen ist, wird auch relativ leicht verständlich zu machen sein, dass ihr strahlendes Lächeln durch eine regelmäßige Präventionsbetreuung aufrechterhalten werden sollte (Attin et al., 2002). Dadurch können Patienten zudem langfristig an die Praxis gebunden werden. Darüber hinaus wird aufgrund des zunehmenden „Schönheitswahns“ die Ästhetik in der Zahnmedizin eine immer bedeutendere Rolle spielen. Dies schließt ein, dass auch die Bleichtherapie einen immer größeren Stellenwert in der „Routinebehandlung“ des Zahnarztes einnehmen wird. Dabei sollte das Bleichmittel folgenden Anforderungen gerecht werden: eine hohe Effektivität bei einem möglichst geringen Zeitaufwand, eine sichere und zahnschonende Anwendung, eine gebrauchsfreundliche einfache Handhabung sowie geringe Kosten. Auf der einen Seite ist zwar der Zeitaufwand bei den so genannten licht- oder laseraktivierten In-Office-Bleichverfahren eindeutig kürzer und der Bleicheffekt eventuell noch deutlicher, die Sicherheit dieser Methoden ist jedoch nicht ausreichend geklärt. Zugegebenermaßen scheint andererseits die Anwendung der Over-the-Counter-Produkte unkomplizierter, da kein Zahnarztbesuch notwendig ist, und zudem diese Produkte auch noch günstiger sind als eine zahnärztlich durchgeführte Bleichtherapie. Die Bleichwirkung mit diesen Mitteln ist häufig jedoch enttäuschend. Daher kann nach wie vor nur die Bleichtherapie mit einer individuell angefertigten Schiene, die der Patient im Home-Bleaching-Verfahren anwendet, empfohlen werden. Diese Studie hat ergeben, dass Voco Perfect Bleach<sup>®</sup> 10 % ein effektives und sicheres Bleichprodukt für diese Therapieform darstellt.



## 5. Zusammenfassung

Durch die Medien geprägt, steigt bei immer mehr Menschen der Wunsch nach einem strahlend weißen Lächeln. Die verschiedenen Zahnbleichmittel unterscheiden sich durch ihren Wirkstoff, dessen Konzentration und die Art der Anwendung. Davon abhängig variieren die Behandlungsdauer und das Bleichergebnis. In der Literatur gibt es nach wie vor gegensätzliche Meinungen über mögliche Effekte der Bleichmittel auf die Ultrastruktur der Zahnhartsubstanz. Deshalb war das Ziel dieser in-vitro Studie, die Veränderung der Schmelzoberfläche an menschlichen Frontzähnen nach Einwirkung des Bleichmittels Voco Perfect Bleach<sup>®</sup> (10 % Carbamidperoxid als Wirkstoff), raster-elektronenmikroskopisch zu analysieren.

Aus den Vestibularflächen von 20 Frontzähnen wurde jeweils etwa eine 3 x 3 mm große Schmelzprobe gewonnen. Diese wurden in 4 Versuchsfelder aufgeteilt. Ein Feld blieb unbehandelt und diente als negative Kontrolle. Ein Feld wurde für insgesamt 6 Stunden gebleicht, ein anderes Feld wurde mit einer 1%igen Fluoridlösung für 2 Minuten behandelt. Das vierte Feld wurde gebleicht und fluoridiert. Anschließend wurden die Schmelzproben einem pH-Cycling unterzogen. Dieses In-vitro-Verfahren stellte die De- und Remineralisationsphasen entsprechend den in der Mundhöhle vorkommenden wechselnden pH-Situationen nach. Erst danach erfolgte die REM-Analyse der Proben im direkten Verfahren.

Bei den unterschiedlich behandelten Feldern konnten keine Oberflächenveränderungen festgestellt werden, die auf die verschiedenen Behandlungsweisen zurückgeführt werden könnten. Detritus, Schleifspuren, freiliegende Prismenstrukturen und Trocknungsartefakte wurden im Rahmen der Analyse beobachtet. Die Verteilung dieser Phänomene auf die 4 Versuchsfelder war jedoch zufällig und ließ keinen Rückschluss auf die Behandlungsweise zu. Dies wurde durch den Chi-Quadrat-Test statistisch belegt. Zur Effektivität des Bleichmittels lässt sich sagen, dass sich durch die Bleichmaßnahmen die Helligkeit der Proben um durchschnittlich 1,75 Stufen erhöhte. Die Intensität der Zahnfarbe reduzierte sich um 2,25 Stufen. Der Farbton der Zähne blieb mit einer durchschnittlichen Zunahme um 0,15 Stufen nahezu unverändert.

Somit kann Voco Perfect Bleach<sup>®</sup> 10 % in Bezug auf Oberflächeneffekte als sicheres und effektives Bleichmittel für die Home-Bleaching-Methode angesehen werden.

## 6. Anhang

### 6.1 Farbergebnis-Tabelle

Diese Tabelle stellt das Ergebnis der Farbbestimmung mit dem VITA Toothguide 3D-Master<sup>®</sup> der in der Studie behandelten 20 Schmelzproben dar. Die Werte entsprechen den einzelnen Farbstufen.

		Farbhelligkeit	Farbton	Farbintensität
<b>Probe 1</b>	Ausgangsfarbe	4	2	2
	Farbe nach 1d	2	3	2
	Farbe nach 2d	1	2	1
	Farbe nach 3d	1	2	1
	Farbe nach Fluoridierung	1	2	1
	Farbe nach pH-Cycling	1	2	1
<b>Probe 2</b>	Ausgangsfarbe	4	2	3
	Farbe nach 1d	3	2	1
	Farbe nach 2d	2	1	4
	Farbe nach 3d	2	1	4
	Farbe nach Fluoridierung	2	1	4
	Farbe nach pH-Cycling	2	1	4
<b>Probe 3</b>	Ausgangsfarbe	3	3	5
	Farbe nach 1d	2	2	1
	Farbe nach 2d	2	2	1
	Farbe nach 3d	2	2	1
	Farbe nach Fluoridierung	2	2	1
	Farbe nach pH-Cycling	2	2	1
<b>Probe 4</b>	Ausgangsfarbe	5	2	5
	Farbe nach 1d	3	2	5
	Farbe nach 2d	2	2	5
	Farbe nach 3d	2	2	5
	Farbe nach Fluoridierung	2	2	5
	Farbe nach pH-Cycling	2	2	5

		<b>Farbhelligkeit</b>	<b>Farbton</b>	<b>Farbintensität</b>
<b>Probe 5</b>	Ausgangsfarbe	2	3	4
	Farbe nach 1d	2	2	1
	Farbe nach 2d	2	2	1
	Farbe nach 3d	2	2	1
	Farbe nach Fluoridierung	2	2	1
	Farbe nach pH-Cycling	2	2	1
<b>Probe 6</b>	Ausgangsfarbe	3	2	1
	Farbe nach 1d	2	2	1
	Farbe nach 2d	1	2	1
	Farbe nach 3d	1	2	1
	Farbe nach Fluoridierung	1	2	1
	Farbe nach pH-Cycling	1	2	1
<b>Probe 7</b>	Ausgangsfarbe	3	1	4
	Farbe nach 1d	2	2	1
	Farbe nach 2d	2	2	1
	Farbe nach 3d	2	2	1
	Farbe nach Fluoridierung	2	2	1
	Farbe nach pH-Cycling	2	2	1
<b>Probe 8</b>	Ausgangsfarbe	4	2	5
	Farbe nach 1d	3	2	1
	Farbe nach 2d	2	2	1
	Farbe nach 3d	2	2	1
	Farbe nach Fluoridierung	2	2	1
	Farbe nach pH-Cycling	2	2	1
<b>Probe 9</b>	Ausgangsfarbe	3	2	5
	Farbe nach 1d	2	2	3
	Farbe nach 2d	1	2	1
	Farbe nach 3d	1	2	1
	Farbe nach Fluoridierung	1	2	1
	Farbe nach pH-Cycling	1	2	1

		<b>Farbhelligkeit</b>	<b>Farbton</b>	<b>Farbintensität</b>
<b>Probe 10</b>	Ausgangsfarbe	4	2	5
	Farbe nach 1d	3	2	1
	Farbe nach 2d	2	2	1
	Farbe nach 3d	2	2	1
	Farbe nach Fluoridierung	2	2	1
	Farbe nach pH-Cycling	2	2	1
<b>Probe 11</b>	Ausgangsfarbe	4	1	4
	Farbe nach 1d	3	2	1
	Farbe nach 2d	3	2	1
	Farbe nach 3d	2	1	2
	Farbe nach Fluoridierung	2	1	2
	Farbe nach pH-Cycling	2	1	2
<b>Probe 12</b>	Ausgangsfarbe	2	3	4
	Farbe nach 1d	2	2	1
	Farbe nach 2d	2	2	1
	Farbe nach 3d	2	2	1
	Farbe nach Fluoridierung	2	2	1
	Farbe nach pH-Cycling	2	2	1
<b>Probe 13</b>	Ausgangsfarbe	5	2	5
	Farbe nach 1d	3	2	5
	Farbe nach 2d	2	2	5
	Farbe nach 3d	2	2	5
	Farbe nach Fluoridierung	2	2	5
	Farbe nach pH-Cycling	2	2	5
<b>Probe 14</b>	Ausgangsfarbe	4	2	3
	Farbe nach 1d	3	2	1
	Farbe nach 2d	2	2	1
	Farbe nach 3d	2	2	1
	Farbe nach Fluoridierung	2	2	1
	Farbe nach pH-Cycling	2	2	1

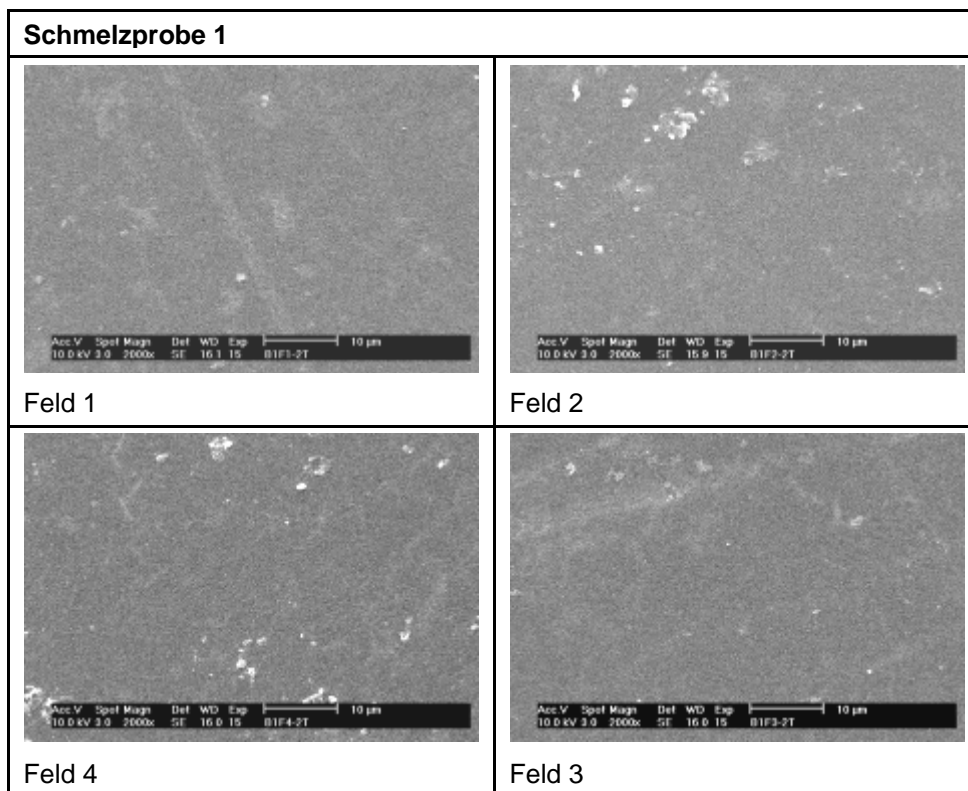
		<b>Farbhelligkeit</b>	<b>Farbton</b>	<b>Farbintensität</b>
<b>Probe 15</b>	Ausgangsfarbe	3	1	4
	Farbe nach 1d	2	2	3
	Farbe nach 2d	1	2	3
	Farbe nach 3d	1	2	3
	Farbe nach Fluoridierung	1	2	3
	Farbe nach pH-Cycling	1	2	3
<b>Probe 16</b>	Ausgangsfarbe	5	2	5
	Farbe nach 1d	4	2	1
	Farbe nach 2d	3	2	1
	Farbe nach 3d	3	2	1
	Farbe nach Fluoridierung	3	2	1
	Farbe nach pH-Cycling	3	2	1
<b>Probe 17</b>	Ausgangsfarbe	2	3	4
	Farbe nach 1d	2	2	1
	Farbe nach 2d	1	2	1
	Farbe nach 3d	1	2	1
	Farbe nach Fluoridierung	1	2	1
	Farbe nach pH-Cycling	1	2	1
<b>Probe 18</b>	Ausgangsfarbe	3	1	4
	Farbe nach 1d	2	1	2
	Farbe nach 2d	1	2	1
	Farbe nach 3d	1	2	1
	Farbe nach Fluoridierung	1	2	1
	Farbe nach pH-Cycling	1	2	1
<b>Probe19</b>	Ausgangsfarbe	2	3	4
	Farbe nach 1d	2	2	1
	Farbe nach 2d	1	2	1
	Farbe nach 3d	1	2	1
	Farbe nach Fluoridierung	1	2	1
	Farbe nach pH-Cycling	1	2	1

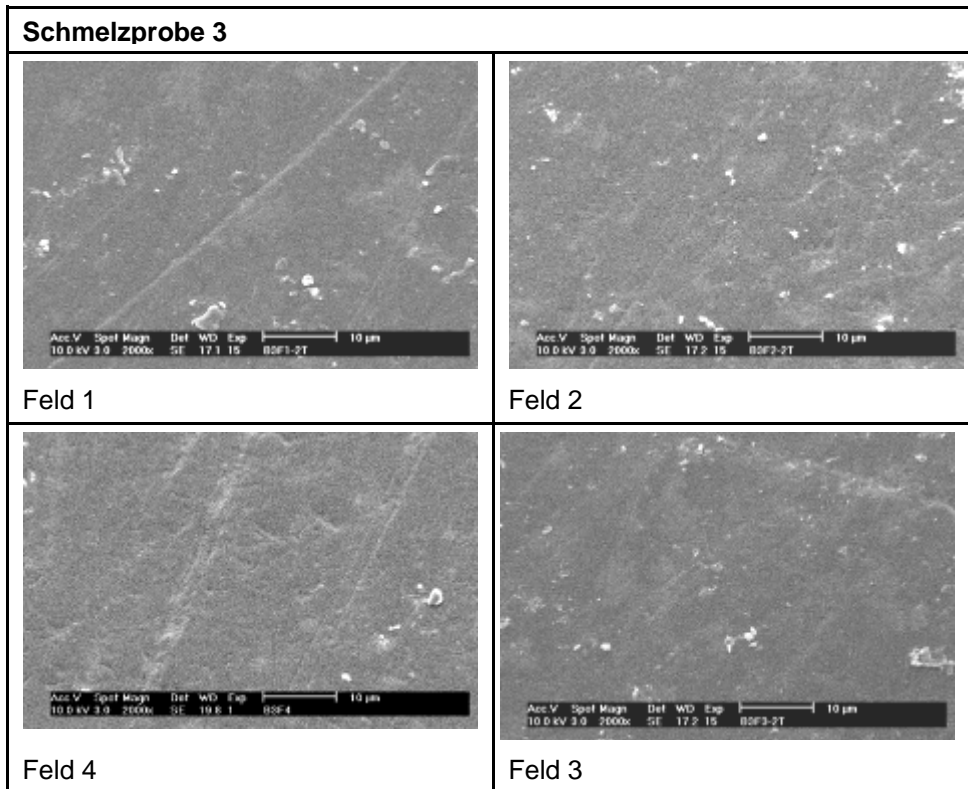
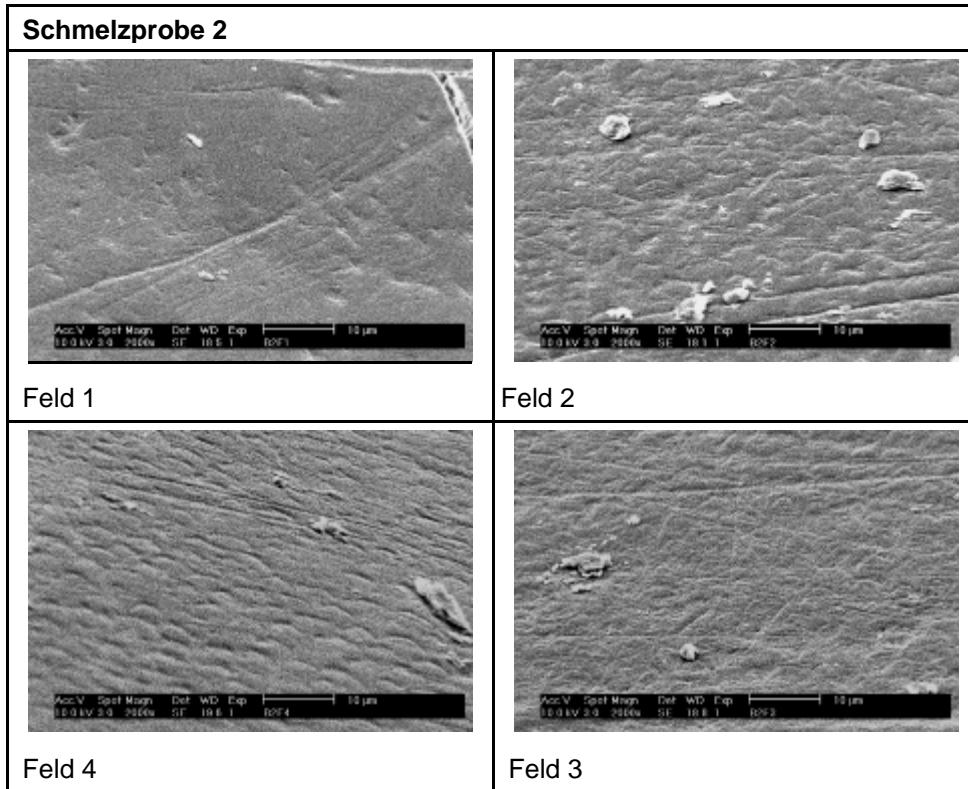
---

		<b>Farbhelligkeit</b>	<b>Farbton</b>	<b>Farbintensität</b>
<b>Probe 20</b>	Ausgangsfarbe	3	2	5
	Farbe nach 1d	2	3	2
	Farbe nach 2d	1	2	3
	Farbe nach 3d	1	2	3
	Farbe nach Fluoridierung	1	2	3
	Farbe nach pH-Cycling	1	2	3

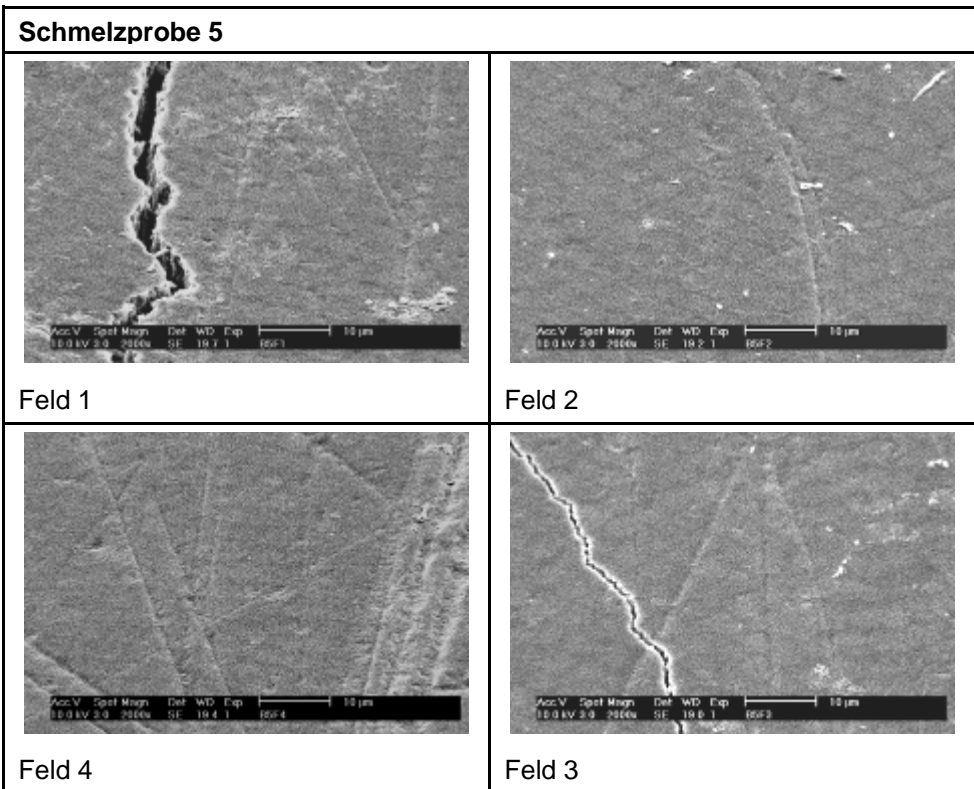
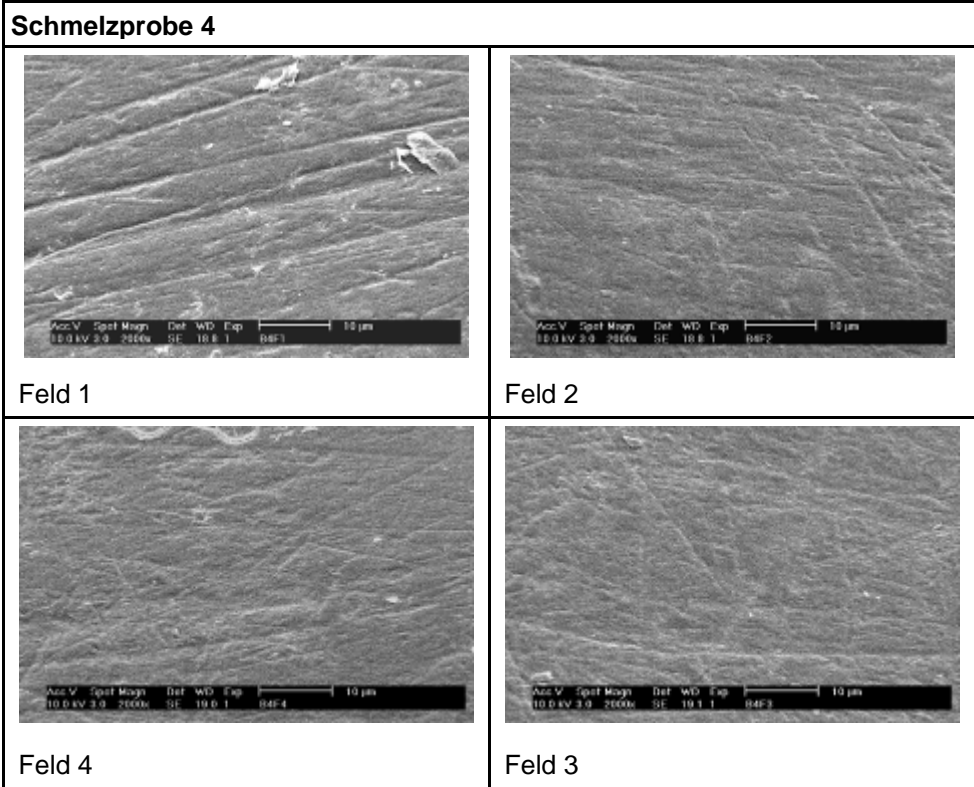
## 6.2 REM-Bilder

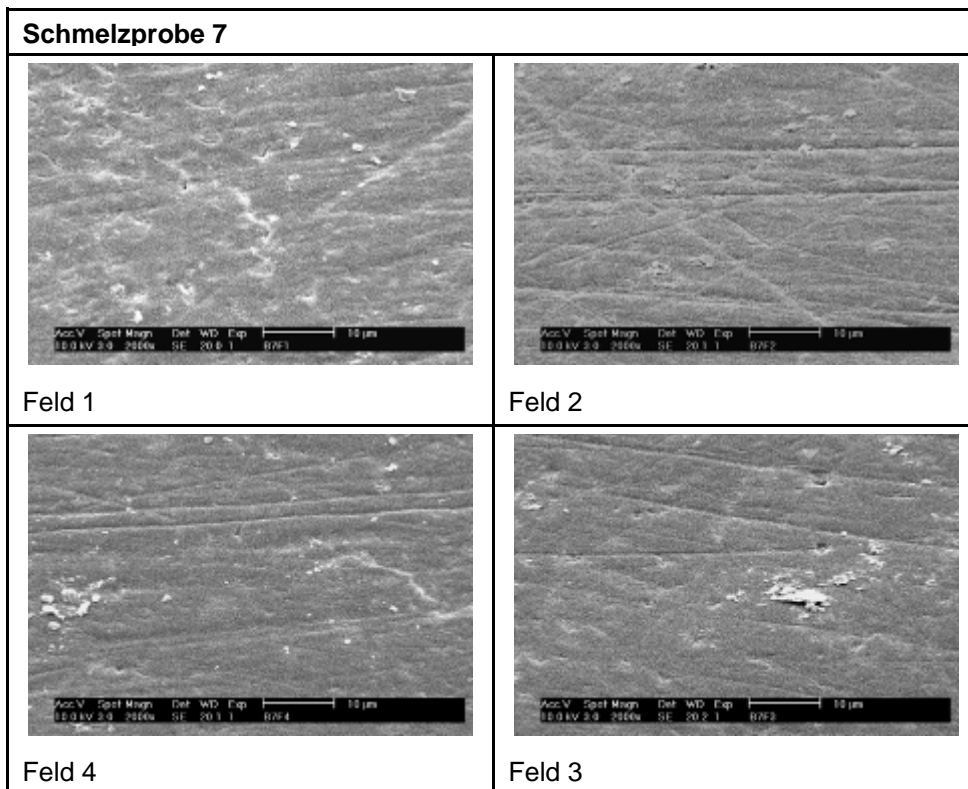
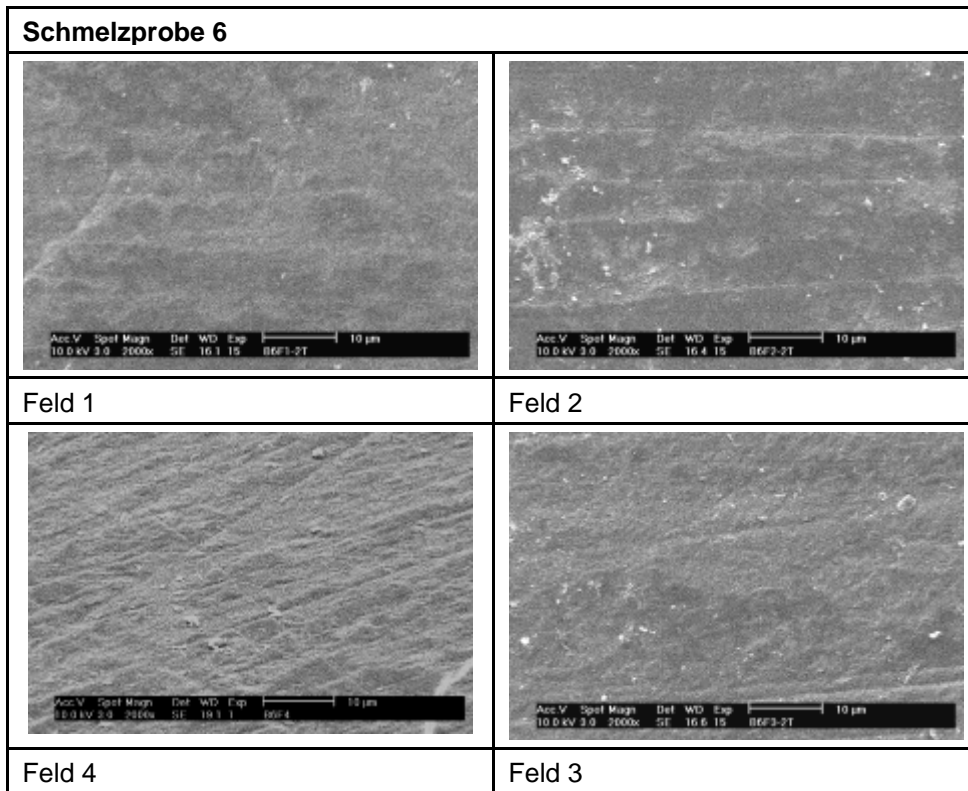
Nachfolgende Abbildungen zeigen die rasterelektronenmikroskopischen Aufnahmen aller 4 unterschiedlich behandelten Felder der 10 unter dem REM betrachteten Schmelzproben in 2000-facher Vergrößerung. Feld 1 stellt eine unbehandelte Schmelzoberfläche dar. Die Oberfläche des Feldes 2 wurde ausschließlich fluoridiert, die des Feldes 3 gebleicht und fluoridiert. Das Feld 4 wurde nur mit dem Bleichmittel behandelt.

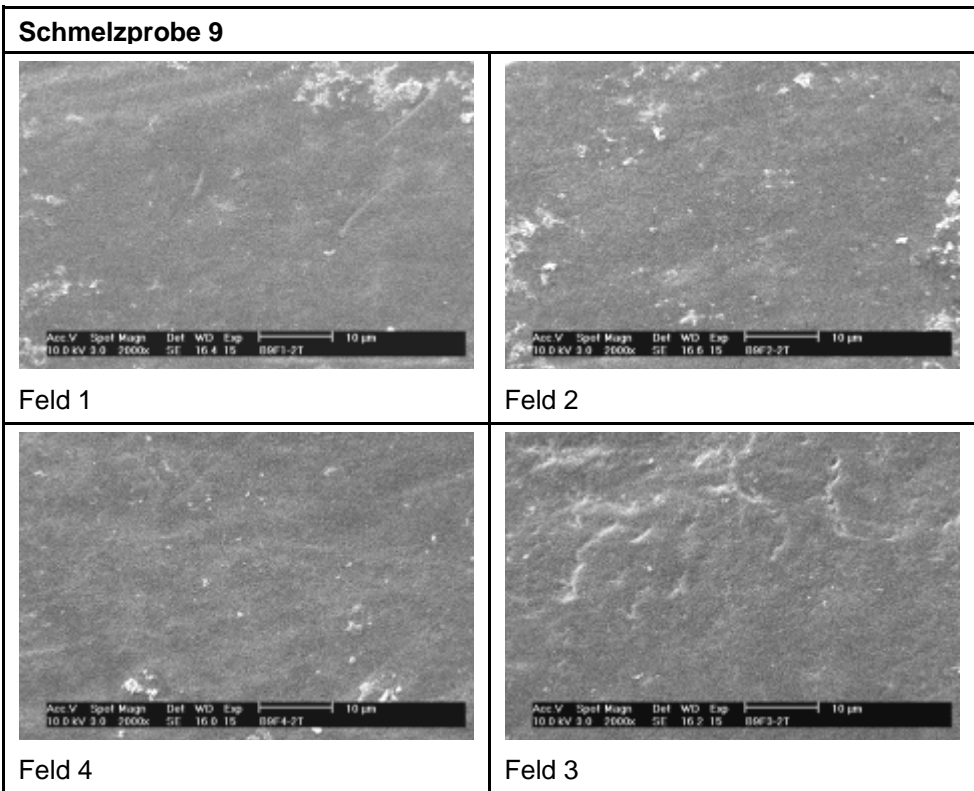
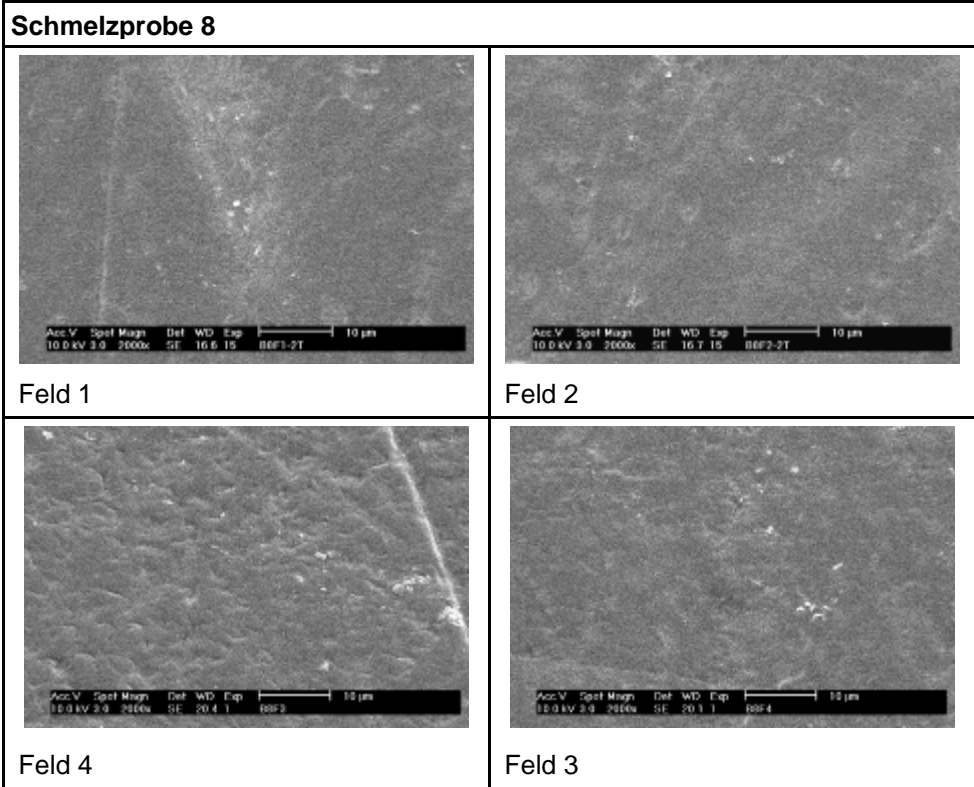


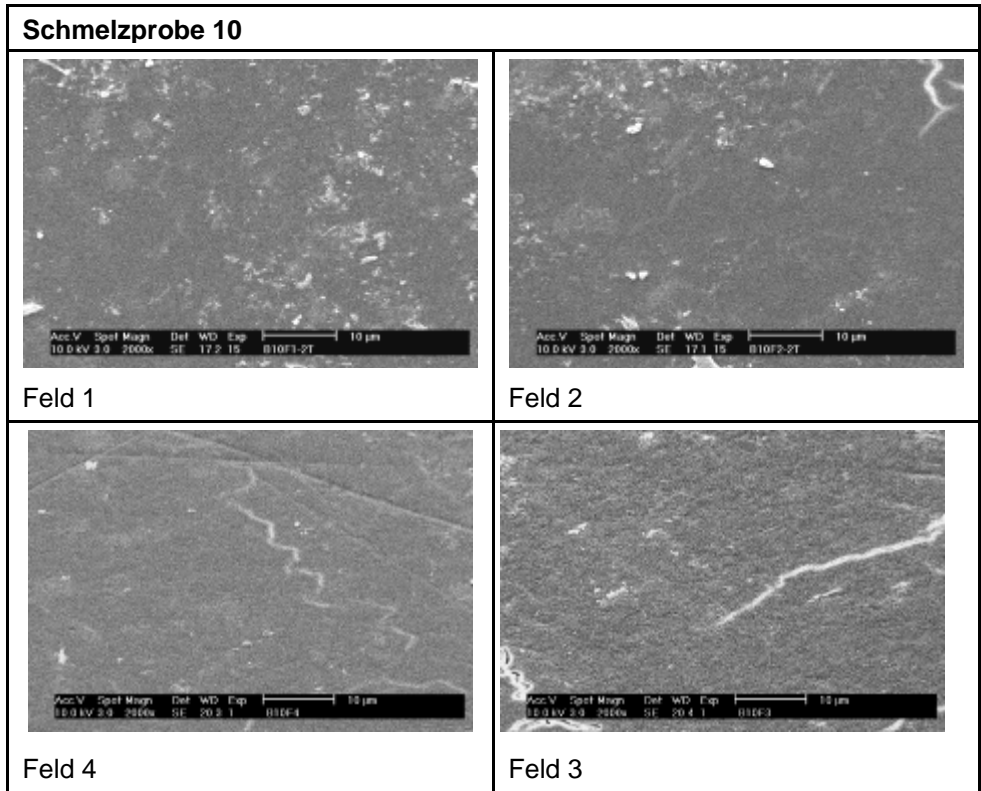












### 6.3 REM-Bilder Ergebnis-Tabelle

Die nachstehende Tabelle zeigt das Vorkommen der rasterelektronenmikroskopisch beobachteten Strukturmerkmale (Detritus, Schleifspuren, Prismenstrukturen, Trocknungsartefakte) auf der Schmelzoberfläche der einzelnen Felder der Proben. Dabei steht das „Ja“ für ein Vorkommen der Schmelzstrukturen, das „Nein“ für ein Nichtvorkommen.

	Detritus	Schleifspuren	Prismenstrukturen	Trocknungsartefakte
<b>Probe 1</b>				
Feld 1	Ja	Nein	Nein	Nein
Feld 2	Ja	Nein	Nein	Nein
Feld 3	Ja	Nein	Nein	Nein
Feld 4	Ja	Nein	Nein	Nein
<b>Probe 2</b>				
Feld 1	Ja	Ja	Nein	Ja
Feld 2	Ja	Ja	Ja	Nein
Feld 3	Ja	Ja	Ja	Nein
Feld 4	Ja	Ja	Ja	Nein
<b>Probe 3</b>				
Feld 1	Ja	Ja	Nein	Nein
Feld 2	Ja	Ja	Nein	Nein
Feld 3	Ja	Ja	Nein	Nein
Feld 4	Ja	Ja	Nein	Nein
<b>Probe 4</b>				
Feld 1	Ja	Ja	Nein	Nein
Feld 2	Ja	Ja	Nein	Nein
Feld 3	Ja	Ja	Nein	Nein
Feld 4	Ja	Ja	Nein	Nein
<b>Probe 5</b>				
Feld 1	Ja	Ja	Ja	Ja
Feld 2	Ja	Ja	Ja	Nein
Feld 3	Ja	Ja	Ja	Ja
Feld 4	Ja	Ja	Ja	Nein

	<b>Detritus</b>	<b>Schleifspuren</b>	<b>Prismenstrukturen</b>	<b>Trocknungsartefakte</b>
<b>Probe 6</b>				
Feld 1	Ja	Ja	Nein	Nein
Feld 2	Ja	Ja	Nein	Nein
Feld 3	Ja	Ja	Nein	Nein
Feld 4	Ja	Ja	Nein	Nein
<b>Probe 7</b>				
Feld 1	Ja	Ja	Ja	Nein
Feld 2	Ja	Ja	Nein	Nein
Feld 3	Ja	Ja	Nein	Nein
Feld 4	Ja	Ja	Nein	Nein
<b>Probe 8</b>				
Feld 1	Ja	Ja	Nein	Nein
Feld 2	Ja	Nein	Nein	Nein
Feld 3	Ja	Nein	Nein	Nein
Feld 4	Ja	Ja	Ja	Nein
<b>Probe 9</b>				
Feld 1	Ja	Ja	Nein	Nein
Feld 2	Ja	Nein	Nein	Nein
Feld 3	Ja	Nein	Nein	Nein
Feld 4	Ja	Ja	Nein	Nein
<b>Probe 10</b>				
Feld 1	Ja	Nein	Nein	Nein
Feld 2	Ja	Nein	Nein	Nein
Feld 3	Ja	Ja	Nein	Ja
Feld 4	Ja	Ja	Nein	Nein

**6.4 Herstellernachweis**

1. Arabesk® Flow Caps A2, Voco GmbH, 27457 Cuxhaven, Germany
2. Brutschrank, Memmert GmbH & Co. KG, 91126 Schwabach, Germany
3. elmex® fluid, GABA GmbH, 79515 Lörrach, Germany
4. Gebrauchsfertige Filtereinheit, Schleicher & Schuell Micro Science GmbH, 37586 Dassel, Germany
5. Große Probeneteller mit Stift 1 Zoll Ø, Plano GmbH, 35578 Wetzlar, Germany
6. Klint®-Reinigungspaste, Voco GmbH, 27457 Cuxhaven, Germany
7. Leit Tabs 25 mm Ø Leitfähige Haftaufkleber, Plano GmbH, 35578 Wetzlar, Germany
8. Mini-Appli-Tips rot, Pluradent AG & Co. KG, 63067 Offenbach, Germany
9. Miniature Cleaning and Polishing Brushes, Kerr Hawe, 84018 Scafati (SA), Italy
10. Papier-Spitzen Roeko Top color ISO 55, Coltène Whaledent GmbH & Co. KG, 89129 Langenau, Germany
11. Pinseleinsätze schwarz, Pluradent AG & Co. KG, 63067 Offenbach, Germany
12. President® Plus, Type 3, Coltène Whaledent GmbH & Co. KG , 9450 Altstätten, Switzerland
13. Scancoat Six/Pirani 501, BOC EDWARDS GmbH, 85551 Kirchheim, Germany
14. Scanning Electron Microscope, Philips Electronics N.V., 5600 JB Eindhoven, The Netherlands
15. Sterilbank Lamin Air, Heraeus Holding GmbH, 63450 Hanau, Germany
16. VITA Toothguide 3D-MASTER®, VITA Zahnfabrik H. Rauter GmbH & Co. KG, 79704 Bad Säckingen, Germany
17. Voco Perfect Bleach®, Voco GmbH, 27457 Cuxhaven, Germany
18. Wattekügelchen Größe 00, Coltène Whaledent GmbH & Co. KG , 89122 Langenau, Germany
19. 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.**

Nichts für Raucher.

test 2004; Heft 9: 18

### **Attin T.**

Sicherheit und Anwendung von carbamid-peroxidhaltigen Gelen bei Bleichtherapien.

Dtsch Zahnärztl Z 1998; 53: 11-16

### **Attin T.**

Die Aufhellung verfärbter, avitaler Zähne mit der „Walking-bleach-Technik“.

Dtsch Zahnärztl Z 2001; 56: 78-89

### **Attin T, Burgmaier G-M, Paqué F.**

Neues zur Zahnaufhellung mit carbamidperoxidhaltigen Gelen.

Zahnärztl Mitt 2001; 91: 468-472

### **Attin T, Hickel R.**

Bleichen von verfärbten Zähnen.

Deutsche Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde: Stellungnahme 6/95 V2.0, Stand 7/00. [www.dgzmk.de/set5.htm](http://www.dgzmk.de/set5.htm) (26.04.2006)

Dtsch Zahnärztl Z 2001; 56: 72-73

### **Attin T, Kielbassa AM, Schwanenberg M, Hellwig E.**

Effect of fluoride treatment on remineralization of bleached enamel.

J Oral Rehabil 1997; 24: 282-286



**Attin T, Kocabiyik M, Buchalla W, Hannig C, Becker K.**

Susceptibility of Enamel Surfaces to Demineralization after Application of Fluoridated Carbamide Peroxide Gels.

Caries Res 2003a; 37: 93-99

**Attin T, Manolakis A, Buchalla W, Hannig C.**

Influence of tea on intrinsic colour of previously bleached enamel.

J Oral Rehabil 2003b; 30: 488-494

**Attin T, Paqué F, Hannig C.**

Aktuelles aus der Forschung zum Thema „Zahnaufhellung“.

Zahnärztl Mitt 2002; 92:1292-1294

**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

**Baik JW, Rueggeberg FA, Liewehr FR.**

Effect of light-enhanced bleaching on in vitro surface and intrapulpal temperature rise.

J Esthet Restor Dent 2001; 13: 370-378

**Benthem H, von.**

Laseranwendung in der Zahnmedizin.

Dtsch Zahnärztl Z 2000; 55: 83-84

**Benz C, Caesar H-H, Fischbach H, Maschinski G, Meiners H, Morgenroth K, Müller J, Otten J-E, Selke-Lodhia R, Selle G, Setz J, Trefz H, Hasenau T, Illig U.**

Lexikon Zahnmedizin, Zahntechnik.

München – Jena: Urban und Fischer, 2000

**Berger A, Gutknecht N, Lampert F.**

Laserunterstütztes Bleaching - Fallbeispiele zur Aufhellung vitaler Zahnhartsubstanz im „Chairside-Verfahren“.

LaserZahnheilkunde 2004; 1: 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

**Bose M, Ott KHR.**

Das Bleichen von Zähnen.

Dtsch Zahnärztl Z 1994; 49: 209-212

**Braun A, Jepsen S, Krause F.**

Spectrophotometric and visual evaluation of vital tooth bleaching employing different carbamide peroxide concentrations.

Dent Mater 2007; 23: 165-169

**Ditzinger T.**

Farbkompetenz in der Zahnfarbbestimmung.

Zahnärztl Mitt 2004; 94: 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 Spec No: SI 3-8

**ten Cate JM.**

In vitro Studies on the Effects of Fluoride on De- and Remineralization.

J Dent Res 1990; 69 (Spec Iss): 614-619

**ten Cate JM, Arends J.**

Remineralization of artificial enamel lesions in vitro.

Caries Res 1977; 11: 277-286

**ten Cate JM, Duijsters PPE.**

Alternating Demineralization and Remineralization of Artificial Enamel Lesions.

Caries Res 1982; 16: 201-210

**ten Cate JM, Timmer K, Shariati M, Featherstone JDB.**

Effect of Timing of Fluoride Treatment on Enamel De- and Remineralization in vitro: A pH-Cycling Study.

Caries Res 1988; 22: 20-26

**Davidson CL, Boom G, Arends J.**

Calcium distribution in human and bovine surface enamel.

Caries Res 1973; 7: 349-359

**Duschner H.**

Zahnaufhellung mit Peroxiden.

Zahnärztl Mitt 2002; 92: 1542-1549

**Faber F-J.**

Die Bestimmung der Zahnfarbe.

Dtsch Zahnärztl Z 2002; 57: 448-449

**Featherstone JDB, Glana R, Shariati M, Shields CP.**

Dependence of in vitro Demineralization of Apatite and Remineralization of Dental Enamel on Fluoride Concentration.

J Dent Res 1990; 69 (Spec Iss): 620-625

**Gülzow H-J, Hellwig E, Hetzer G.**

Empfehlung zur Kariesprophylaxe mit Fluoriden.

Deutsche Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde: Stellungnahme

Stand 06/2002

Dtsch Zahnärztl Z 2000; 55: 523

**Gultz J, Do L, Boylan R, Kaim J, Scherer W.**

Two in-office bleaching systems: a scanning electron microscope study.

Compend Contin Educ Dent 1999; 20: 965-968

**Helfgen E-H,**

Zahnfarbe.

In: Hupfaut L, Nolden R, HRSG., Ästhetik in der Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde.

München - Wien - Baltimore: Urban und Schwarzenberg, 1995: 27-43

**Hopp M, Biffar R.**

Laserunterstütztes Bleaching mit dem Diodenlaser MDL 15 (980nm).

LaserZahnheilkunde 2004; 1: 261-268

**Kewitz K.**

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

Med Diss, Bonn 2007

**Kielbassa AM, Wrbas K-Th.**

Extrinsische und intrinsische Zahnverfärbungen Teil 1: Ursachen.

ZWR 2000; 109: 177-183

**Kielbassa AM, Zantner C.**

Zur Einordnung der Bleichtherapie im zahnärztlichen Behandlungsspektrum.

Quint 2001; 52: 1105-1113

**Kihn PW, Barnes DM, Romberg E, Peterson K.**

A clinical evaluation of 10 percent vs. 15 percent carbamide peroxide tooth-whitening agents.

J Am Dent Assoc 2000; 131: 1478-1484

**Koch JH.**

Externes Bleichen – lieber sanft als hart.

Zahnärztl Mitt 2003; 93: 2218-2220

**Koeck B.**

Untersuchung und Befunderhebung.

In: Hupfauf L, HRSG., Festsitzender Zahnersatz. München - Wien - Baltimore: Urban und Schwarzenberg, 1993: 3-35

**Kordes A.**

Morphologische Studien der Primärkolonisation von pellicelbeschichteten Schmelzoberflächen am Beispiel von Streptococcus mutans.

Med Diss, Bonn 2007

**Lenhard M.**

Assessment tooth color change after repeated bleaching. In vitro with a 10 percent carbamide peroxide gel.

J Am Dent Assoc 1996; 127: 1618-1624

**Lenhard M, Gómez G.**

Das Bleichen avitaler Zähne mit Carbamid-Peroxid-Gel.

Quintessenz 2002; 53: 713-721

**Lips MB.**

Blondierte Zähne.

Zahnärztl Mitt 2004; 94: 1796-1802

**Lopes GC, Bonisconi L, Baratieri LN, Vieira LC, Monteiro S Jr.**

Effect of bleaching agents on the hardness and morphology of enamel.

J Esthet Restor Dent 2002; 14: 24-30

**Luk K, Tam L, Hubert M.**

Effect of light energy on peroxide tooth bleaching.

J Am Dent Assoc 2004; 135: 194-201

**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

**McCracken MS, Haywood VB.**

Demineralization effects of 10 percent carbamide peroxide.

J Dent 1996; 24: 395-398

**Nathoo SA.**

The chemistry and mechanisms of extrinsic and intrinsic discoloration.

J Am Dent Assoc 1997; 128 Suppl: 6S-10S

**Nathoo S, Santana E 3<sup>rd</sup>, Zhang YP, Lin N, Collins M, Klimpel K, DeVizio W, Giniger M.**

Comparative seven-day clinical evaluation of two tooth whitening products.

Compend Contin Educ Dent 2001; 22: 599-604

**Nelson DGA, Jongebloed WL, Arends J.**

Morphology of Enamel Surfaces Treated with Topical Fluoride Agents: SEM Considerations.

J Dent Res 1983; 62: 1201-1208

**Nekrashevych Y, Hannig M, Stosser L.**

Assessment of enamel erosion and protective effect of salivary pellicle by surface roughness analysis and scanning electron microscopy.

Oral Health Prev Dent 2004; 2: 5-11

**de Oliveira R, Basting RT, Rodrigues JA, Rodrigues AL Jr., Serra MC.**

Effects of a carbamide peroxide agent and desensitizing dentifrices on enamel microhardness.

Am J Dent 2003; 16: 42-46

**Oltu U, Gurgan S.**

Effects of three concentrations of carbamide peroxide on the structure of enamel.

J Oral Rehabil 2000; 27: 332-340

**Pascher DD.**

Zwei-Jahres-Untersuchung dreier verschiedener kommerzieller Homebleaching-Produkte in Bezug auf Bleichwirkung und Wirkungsdauer in vivo.

Med Diss, München 2004

**Peters S.**

Die Patientenakzeptanz der Whitestrip-Behandlung.

Zahnärztl Mitt 2002; 92: 1292-1294

**Peters S.**

Ansprüche des Patienten an sein häusliches Zähnebleichen.

Zahnärztl Mitt 2005; 95: 2230-2234

**Pinto CF, de Oliveira R, Cavalli V, Giannini M.**

Peroxide bleaching agent effects on enamel surface microhardness, roughness and morphology.

Braz Oral Res 2004; 18: 306-311

**Robinson FG, Haywood VB, Myers M.**

Effect of 10 percent carbamide peroxide on color of provisional restoration materials.

J Am Dent Assoc 1997; 128: 727-731

**Ross F.**

Untersuchung zur Reproduzierbarkeit der Zahnfarbbestimmung mit einem neuen Zahnfarbringsystem.

Med Diss, Hannover 2002

**Rotstein I, Mor C, Friedmann S.**

Prognosis of intrakoronar bleaching with sodium perborate preparations in vitro: 1-Year study.

J Endod 1993; 19: 10-12

**Schemehorn B, González-Cabezas C, Joiner A.**

A SEM evaluation of a 6 % hydrogen peroxide tooth whitening gel on dental materials in vitro.

J Dent 2004; 32: 35-39

**Sissons CH, Cutress TW, Hoffman MP, Wakefield JStJ.**

A multi-station dental plaque microcosm (artificial mouth) for the study of plaque growth, metabolism, pH and mineralisation.

J Dent Res 1991; 70: 1409-1416



**Spalding M, Luis Antonio de assis Taveira, Gerson Francisco de assis.**

Scanning Electron Microscopy Study of Dental Enamel Exposed to 35 % Hydrogen Peroxide: Alone, With Saliva, and With 10 % Carbamide Peroxide.

J Esth Restor Dent 2003; 15: 154-165

**Sulieman M, Addy M, Rees JS.**

Surface and intra-pulpal temperature rises during tooth bleaching: an in vitro study.

Br Dent J 2005; 199: 37-40

**Sun G.**

The role of lasers in cosmetic dentistry.

Dent Clin North Am 2000; 44: 831-850

**Vollmann M.**

Vitapan 3D-Master – Theorie und Praxis.

Dental Lab 1998; 46; 1247-1254

**Wetter NU, Walverde D, Kato IT, Eduardo Cde P.**

Bleaching efficacy of whitening agents activated by xenon lamp and 960nm diode radiation.

Photomed Laser Surg 2004; 22: 489-493

**White DJ, Kozak KM, Zoladz JR, Duschner HJ, Götz H.**

Effects of Crest<sup>®</sup> Whitestrips<sup>™</sup> Bleaching on Surface Morphology and Fracture Susceptibility of Teeth In Vitro.

J Clin Dent 2003; 14: 82-87

**Wiegand A, Attin T.**

Internes und externes Bleichen von Zähnen – eine Übersicht.

Oralprophylaxe 2002; 24: 153-158

**Zantner C, Kielbassa AM.**

In-Office-Bleaching – Abgrenzung zu alternativen Therapieverfahren.

ZWR 2004; 113: 207-215

**Zalkind M, Arwaz JR, Goldmann A, Rotstein I.**

Surface morphology changes in human enamel, dentin and cementum following bleaching: a scanning electron microscopy study.

Endod Dent Traumatol 1996; 12: 82-88

## **8. Danksagung**

Für die gute Betreuung, Unterstützung und Hilfsbereitschaft bei der Planung, Durchführung und Abfassung dieser Arbeit möchte ich ganz herzlich Herrn Professor Dr. med. dent. M. Frentzen danken.

Außerdem gilt mein besonderer Dank Frau Lange und Frau Stachel, die mir im wissenschaftlichen Labor und bei der Literaturrecherche stets mit guten Tipps zur Seite standen.

Des Weiteren danke ich Sabine Klein, Matthias Hahn und meinen Eltern für ihre hilfreiche Unterstützung.