

Aus der Abteilung für Zahnerhaltung und Präventivzahnmedizin  
der Medizinischen Fakultät Charité – Universitätsmedizin Berlin

## DISSERTATION

# Vergleichende klinische Prüfung der Wirksamkeit vier verschiedener Bleichtherapien

Zur Erlangung des akademischen Grades  
Doctor medicinae dentariae (Dr. med. dent.)

vorgelegt der Medizinischen Fakultät  
Charité – Universitätsmedizin Berlin

von

Elke Schmidt  
aus Königs Wusterhausen

Gutachter:

1. Prof. Dr. K.-R. Jahn
2. Prof. Dr. med. dent. S. Zimmer
3. Prof. Dr. med. dent. habil. E. Glockmann

Datum der Promotion: 19.09.2008

Für meine geliebte Mutti und  
in Erinnerung an meinen Vati

<b>Inhaltsverzeichnis</b>	<b>Seite</b>
<b>1. Einleitung</b> .....	<b>9</b>
<b>2. Literaturübersicht</b> .....	<b>11</b>
2.1 <i>Zahnverfärbungen</i> .....	11
2.1.1 Extrinsische Zahnverfärbungen .....	11
2.1.2 Intrinsische Zahnverfärbungen .....	14
2.2 <i>Bleichverfahren zum externen Bleichen vitaler Zähne</i> .....	19
2.2.1 Nightguard-vital-bleaching (home-bleaching) .....	19
2.2.2 Over-the-counter-Produkte (home bleaching) .....	19
2.2.3 In-office-bleaching .....	20
2.2.4 Chairside-bleaching .....	20
2.2.5 Wirksamkeit .....	21
2.2.6 Nebenwirkungen .....	24
2.3 <i>Bleichsubstanzen</i> .....	26
2.3.1 Wasserstoffperoxid .....	26
2.3.2 Carbamidperoxid (CP) .....	29
2.4 <i>Wasserstoffperoxid-Wechselwirkungen</i> .....	31
2.4.1 Biologische Strukturen .....	31
2.4.1.1 Schmelzhärte nach externem Bleichen .....	31
2.4.1.2 Morphologie des Schmelzes .....	32
2.4.1.3 Kariesanfälligkeit .....	35
2.4.1.4 Dentin .....	36
2.4.1.5 Dentinhärte nach externem Bleichen .....	36
2.4.1.6 Penetration von Bleichsubstanzen und die Wirkung auf pulpale Gewebe .....	38
2.4.1.7 Toxizität .....	41
2.4.2 Dentale Werkstoffe .....	45
2.4.2.1 Zahnfarbene Füllungsmaterialien .....	45
2.4.2.1.1 Durchlässigkeit und Haftkraft zahnfarbener Füllungsmaterialien .....	45
2.4.2.1.2 Rauigkeit und Härte zahnfarbener Füllungsmaterialien .....	47
2.4.2.2 Amalgam .....	49

2.5	<i>Zahnfarbe und Farbbestimmung</i> .....	51
2.5.1	Elektronische Farbbestimmung .....	55
<b>3.</b>	<b>Fragestellung</b> .....	<b>58</b>
<b>4.</b>	<b>Probanden und Methoden</b> .....	<b>59</b>
4.1	<i>Probandenauswahl und Screeninguntersuchung</i> .....	59
4.2	<i>Vorbereitung</i> .....	60
4.3	<i>Untersuchungen (U1-U4)</i> .....	62
4.4	<i>Ermittlung der Zahnfarbe</i> .....	63
4.4.1	Elektronische Farbbestimmung .....	63
4.4.2	Individuelle Farbbestimmung .....	64
4.5	<i>Ermittlung der Patientenakzeptanz</i> .....	66
4.6	<i>Statistische Auswertung</i> .....	66
<b>5.</b>	<b>Ergebnisse</b> .....	<b>68</b>
5.1.	<i>Elektronische Zahnfarbbestimmung</i> .....	68
5.1.1	Veränderungen der Zahnfarbwerte L* (Helligkeit) .....	68
5.1.1.1	Veränderungen der Zahnfarbwerte L* bei der Behandlung mit den verschiedenen Produkten .....	68
5.1.1.2	Vergleich der Veränderung der Zahnfarbwerte L* bei der Behandlung mit den verschiedenen Bleichprodukten .....	70
5.1.1.3	Vergleich der Produktgruppen bei der Veränderung der Zahnfarbwerte L* über den Gesamtzeitraum und nach der Behandlung .....	72
5.1.2	Veränderungen der Zahnfarbwerte a* (Rot-Grün-Richtung) .....	73
5.1.2.1	Veränderungen der Zahnfarbwerte a* bei der Behandlung mit den verschiedenen Produkten .....	73
5.1.2.2	Vergleich der Veränderung der Zahnfarbwerte a* bei der Behandlung mit den verschiedenen Bleichprodukten .....	75
5.1.2.3	Vergleich der Produktgruppen bei der Veränderung der Zahnfarbwerte a* über den Gesamtzeitraum und nach der Behandlung .....	77
5.1.3	Veränderungen der Zahnfarbwerte b* (Blau-Gelb-Richtung) .....	78

5.1.3.1	Veränderungen der Zahnfarbwerte $b^*$ bei der Behandlung mit den verschiedenen Produkten.....	78
5.1.3.2	Vergleich der Veränderung der Zahnfarbwerte $b^*$ bei der Behandlung mit den verschiedenen Bleichprodukten.....	80
5.1.3.3	Vergleich der Produktgruppen bei der Veränderung der Zahnfarbwerte $b^*$ über den Gesamtzeitraum und nach der Behandlung .....	82
5.1.4	Veränderungen der Vita - Zahnfarbwerte .....	83
5.1.4.1	Veränderungen der mittleren Vita - Zahnfarbwerte bei der Behandlung mit den verschiedenen Produkten .....	83
5.1.4.2	Vergleich der Veränderung der mittleren Vita - Zahnfarbwerte der verschiedenen Bleichtherapien während der Behandlung.....	85
5.1.4.3	Vergleich der Produktgruppen bei der Veränderung der mittleren Vita-Farbwerte über den Gesamtzeitraum und nach der Behandlung .....	87
5.1.5	Vergleich der Produktgruppen bei der Veränderung der mittleren Gesamtfarbwerte $\Delta E^*$ über verschiedene Zeiträume.....	88
5.2	<i>Fotos zu den verschiedenen Untersuchungen .....</i>	90
5.2.1	Therapie mit blend-a-med Whitestrips.....	90
5.2.2	Therapie mit Colgate Simply White .....	91
5.2.3	Therapie mit el-ce med Easy White.....	92
5.2.4	Therapie mit Perlweiss Bleaching Weiss.....	93
5.3.	<i>Nebenwirkungen.....</i>	94
5.3.1	Hypersensibilitäten der Zähne .....	95
5.3.2	Reizungen der Gingiva .....	96
5.4	<i>Auswertung der Fragebögen .....</i>	97
<b>6.</b>	<b>Diskussion .....</b>	102
6.1	<i>Probanden und Methoden .....</i>	102
6.1.1	Probanden.....	102
6.1.2	Applikation und Konzentration der Produkte .....	104
6.2	<i>Farbbestimmung.....</i>	106
6.2.1	Visuelle Farbbestimmung.....	106
6.2.2	Elektronische Farbbestimmung .....	107

6.3	<i>Ergebnisse</i> .....	109
6.3.1	Veränderung der Farbwerte L* .....	109
6.3.2	Veränderung der Farbwerte a* .....	111
6.3.3	Veränderung der Farbwerte b* .....	112
6.3.4	Bestimmung der Zahnfarbe nach dem Vita-Farbring und der elektronisch ermittelte Wert $\Delta E^*$ .....	113
6.3.5	Nebenwirkungen.....	115
6.3.6	Patientenakzeptanz .....	116
<b>7.</b>	<b>Schlussfolgerungen</b> .....	<b>119</b>
<b>8.</b>	<b>Zusammenfassung</b> .....	<b>120</b>
<b>9.</b>	<b>Literaturverzeichnis</b> .....	<b>122</b>
<b>10.</b>	<b>Anhang</b> .....	<b>138</b>
10.1	<i>Instrumentarium</i> .....	138
10.2	<i>Verbrauchsmaterialien</i> .....	138
10.3	<i>Technische Geräte</i> .....	138
10.4	<i>Hardware und Software</i> .....	139
10.5	<i>Abkürzungen</i> .....	139
10.6	<i>Danksagung</i> .....	140
10.7	<i>Lebenslauf</i> .....	141
10.8	<i>Eidesstattliche Erklärung</i> .....	142

## **Vorbemerkung**

Auszüge der Arbeit wurden bereits veröffentlicht:

Bizhang M, Schmidt E, Zimmer S, Singh P, Raab W:

Comparative clinical study of the effectiveness of four different bleaching treatments.

J Dent Res 85 (Spec Issue B): 0306 (CED), 2006.

## 1. Einleitung

Attraktivität wird von den meisten Menschen mit durchweg positiven Eigenschaften assoziiert. Dr. Gründl et al. (2003) beobachteten, „... dass es ein ausgeprägtes Attraktivitätsstereotyp gibt: Je attraktiver die präsentierten Gesichter waren, desto erfolgreicher, zufriedener, sympathischer, intelligenter, geselliger, aufregender, kreativer und fleißiger wurden die Personen eingeschätzt. Dies zeigt, welche weitreichenden sozialen Folgen Attraktivität nach sich ziehen kann.“

Zu ähnlichen Ergebnissen kamen DION et al. schon 1972, als sie sechzig Psychologiestudenten attraktiven und weniger attraktiven Personen bestimmte Eigenschaften zuschreiben ließen. Dabei wurden den Attraktiveren fast durchweg positivere Eigenschaften und Fähigkeiten zugetraut. Lediglich bei der Einschätzung der Kompetenz als Eltern schnitten die weniger Attraktiven besser ab.

Attraktivität schließt schöne Zähne mit ein und dass Zähne als schön empfunden werden, schließt auch die Zahnfarbe ein. So äußerten sich bei der hier vorliegenden Untersuchung 89% der Befragten, dass Menschen mit weißen Zähnen auf sie attraktiver wirkten.

Nach DUNN et al. (1996) wird beim Lächeln eine helle Zahnfarbe von Menschen verschiedenen Alters und unabhängig von der Zugehörigkeit zu verschiedenen ethnischen Gruppen, Geschlecht, Einkommenssituation oder Bildungsniveau als ein vorrangiges Attraktivitätsmerkmal wahrgenommen.

BAILEY und CHRISTEN (1968) schilderten, dass fluorotische Verfärbungen an den Zähnen ihrer Patienten von deren Freunden und Angehörigen mit schlechter Mundpflege oder Rauchen in Verbindungen gebracht wurden und sie deshalb nur noch widerwillig lachten, was wiederum charakterliche Fehleinschätzungen zur Folge hatte.

Bei DAVIS et al. (1998) berichteten Patienten von einem Gefühl der Unsauberkeit und dass sie sich geringwertiger fühlten als Personen mit weißen Zähnen. Die Korrektur von Form und Farbe der Zähne durch Veneers beurteilten sie als Rückkehr zur Normalität, die ihnen ein offenes Lachen und den spontanen Umgang mit anderen Menschen ermöglichte sowie ihr Selbstwertgefühl verbesserte.

Natürlich setzt Werbung für ein neues Produkt oder einen neuen Trend genau dort an.

Als Proctor & Gamble 2002 seine blend-a-med Whitestrips präsentierte, bewarb man das Produkt unter anderem folgendermaßen: „Für die Psychologie sind Mund und Zähne besonders interessant. Instinktiv verbindet das Unterbewusstsein Raucher- oder

*Teebeläge im Allgemeinen mit Schlampigkeit, Erfolglosigkeit und Distanzbedürfnis. In Hollywood-Filmen werden diese Stigmatisierungen gezielt eingesetzt: Zahnlücken stehen dort eindeutig für Verlierer-Typen. Je heller die Zähne und je gesünder das Zahnfleisch, desto mehr Optimismus, Energie und vor allem Sympathie strahlt ein Mensch aus.“*

GROSOFSKY et al. (2003) räumten diese Möglichkeit zwar ein, fanden jedoch selbst keinen Zusammenhang zwischen dunklen Zähnen und einer älteren oder weniger attraktiven Wirkung auf andere Personen.

Eine Umfrage im Osten Finnlands ergab, dass weiße Zähne unbedeutender sind für Männer, Ältere und Personen mit höherem Bildungsniveau (VALLITTU et al. 1996).

So unterschiedlich die Wahrnehmungen und Bedürfnisse verschiedener Personen auch sein mögen, so wird doch der zahnärztliche Alltag nicht nur von dem Bedürfnis der Patienten nach Wiederherstellung der Funktion, sondern zunehmend durch den Wunsch nach Herstellung oder Wiederherstellung der Ästhetik der Zähne bestimmt. In der Vergangenheit konnte eine Veränderung der Zahnfarbe ausschließlich invasiv, d.h. durch die Anfertigung von Kronen oder Veneers behoben werden, was mit einem irreversiblen Verlust von Zahnhartsubstanz einherging. Eine Bleichtherapie kann als minimalinvasive Methode zur Aufhellung der Zahnfarbe in vielen Fällen als zahnhartsubstanzschonende, effiziente und sichere Alternative zur herkömmlichen Therapie angesehen werden.

Während in der Vergangenheit eine Bleichtherapie in der Hand des Zahnarztes lag, haben sich in den letzten Jahren geringer dosierte Bleichprodukte am Markt etabliert, die durch die Anwender im Handel frei erworben werden können.

Ziel der vorliegenden Arbeit ist, vier dieser frei verkäuflichen Produkte hinsichtlich ihrer Wirksamkeit und Akzeptanz zu untersuchen und zu vergleichen.

## **2. Literaturübersicht**

### **2.1 Zahnverfärbungen**

Verfärbungen von Zähnen können intern und extern vorliegen, vielfältige Ursachen haben und sowohl prä- als auch posteruptiv entstehen. Ist die Art und Ursache der Farb-anomalie bekannt, lässt sich daraus eine entsprechende Therapie ableiten.

#### **2.1.1 Extrinsische Zahnverfärbungen**

Grundsätzlich sollen sich Farbpigmente aus Nahrungs- und Genussmitteln wie Kaffee, Tee und besonders Rotwein, Tabak oder auch Metallverbindungen über verschiedene physikalische und chemische Vorgänge an das Schmelzoberhäutchen (Pellicel) binden (KERR und ASH 1971, NATHOO 1997), das sich seinerseits durch die Adsorption von Glycoproteinen des Speichels an Apatite herausbildet und durch Protein – Deglycosylierung zum wasserunlöslichen, irreversibel haftenden Proteinfilm wird (SCHULZ 1999). Wie SÖNJU und RÖLLA (1973) in vivo nachwiesen, bildet es sich auf dem gereinigten Zahn innerhalb von 60 bis 90 Minuten aus. Lichtmikroskopisch erscheint es strukturlos und frei von Mikroorganismen (VOGEL 1975).

Welche Moleküle, z.B. aus Tee oder Rotwein, sich über welche Mechanismen daran binden, ist weitestgehend unbekannt (Joiner et al 2003, 2004, VITKOV et al. 2004).

Ist das Pellicel reich an prolinreichen Speichelproteinen der Glandula parotis, soll es eine besondere Affinität zu Polyphenolen aus schwarzem Tee aufweisen (PROCTOR et al. 2005).

Polyphenole lagern sich unverändert ein, ebenso wie schwarze, grüne und orange Verfärbungen, die durch chromogene Bakterien wie Actinomyces-, Penicillium-, Aspergillus-Spezies, Serratia marcescens, Flavobakterium lutescens verursacht werden (KERR und ASH 1971, DAYAN et al. 1983).

Schwarz pigmentierte Bacteroides Spezies fanden VAN WINKELHOFF et al. (1986) z.B. bei Patienten mit und ohne parodontale Erkrankungen im oralen Milieu.

Andere Diskolorationen sollen in Folge von Denaturierung von Pellicelproteinen oder der Anhäufung von Chromogenen bzw. deren Alterung entstehen. Die Umwandlung von farblosen Substanzen oder Prächromogenen in farbige läuft über chemische Reaktionen ab.

Ähnlich einer Reaktion, die bei Äpfeln oder Kartoffeln zur Bräunung führt (nichtenzymatische Bräunungsreaktion nach Maillard), sollen in Zahnbelägen Reaktionen zwischen reduzierenden Zuckern und Aminosäuren ablaufen, die zu Farbumschlägen führen (NATHOO 1997, FALBE und REGITZ 1999).

Grübchen, Fissuren und Defekte auf der Zahnoberfläche sowie mangelnde Zahnpflege begünstigen die Akkumulation von Plaque und Nahrungsresten und somit die Entstehung von Verfärbungen.

Zur Einordnung oberflächlicher Farbveränderungen führte Nathoo 1997 eine Klassifizierung nach Typ N1 bis Typ N3 ein, die sich auf die Ursache der Farbveränderung bezieht (Tabelle 1).

**Tabelle 1:** Nathoo – Klassifikation extrinsischer Zahnverfärbungen (Nathoo 1997).

N1 – Typ Direkte Verfärbung	Chromogen = Farbstoff bindet sich an die Oberfläche des Zahnes; Die Farbe des Chromogens entspricht der Verfärbung.
N2 – Typ Direkte Verfärbung	Chromogen wechselt seine Farbe nach der Bindung an den Zahn.
N3 – Typ Indirekte Verfärbung	Farblose Substanzen oder eine Vorstufe des Chromogens binden an den Zahn, wo eine chemische Reaktion die Verfärbung auslöst.

Dem Gebrauch von Chlorhexidindigluconat (CHX) wird allgemein eine Verfärbung von Zunge und Zähnen nachgesagt. ADDY und MORAN fanden 1985 heraus, dass CHX in Kombination mit schwarzem Tee, Kaffee, Sojasaucen, Rotwein und Curry zu starken Verfärbungen führt, jedoch nicht bei alleinigem Gebrauch.

Der Genuss dieser Nahrungs- und Genussmittel soll auch bei Gebrauch von Substanzen, die Fe-III-Chlorid oder Silbernitrat (Medikamente, Desinfektionsmittel) enthalten, zu eindrucksvollen grauen bis schwarzen Verfärbungen führen. In Verbindung mit Zinnchlorid resultieren sie, ebenso wie schwarze Johannisbeeren, in gelben bis hellbraunen Verfärbungen.

Auch Kupfersulfat und Aluminiumchlorid sollen in Verbindung mit Farbstoffen aus Nahrungsmitteln, vor allem Tee, Kaffee und Curry, Farbveränderungen verursachen (ADDY und MORAN 1985a,b).

Außerdem können sich z.B. bei Beschäftigten der metallverarbeitenden Industrie Kupfer, Messing, Bronze (blaugrün), Eisen (braun), Silber (blaugrau bis schwarz) oder

Nickel (grün) den Zähnen auflagern (FITCH 1861, STELLWAGEN 1870, KERR und ASH 1971).

Nach Untersuchungen von NORDBØ et al. (1984) soll es individuelle Unterschiede im Bindungsvermögen von Metallionen an das Pellicel geben. So wurden auf Schmelzproben, deren Schmelzoberhäutchen von Probanden mit Zahnverfärbungen in situ „hergestellt“ wurden (Schmelzproben wurden an den Zähnen der Teilnehmer befestigt), nach Anwendung von CHX und eisenhaltigen Spüllösungen signifikant mehr Eisenionen im Pellicel nachgewiesen als bei Proben von Probanden ohne Verfärbungen. Die Autoren leiten daraus die Vermutung ab, dass das Pellicel bei Patienten mit Verfärbungen mehr Bindungsstellen für Metallionen aufweist. Die genauen Mechanismen konnten nicht geklärt werden.

Externe Zahnverfärbungen können durch professionelle Zahnreinigungen unter Anwendung von Reinigungs- und Polierpasten entfernt werden. (BROWN 1965, KIELBASSA und WRBAS 2000a).

Abgesehen von Verfärbungen, bei denen durch äußere Einflüsse, wie z.B. durch Tabakkonsum, Farbstoffe von außen in die Zahnhartgewebe gelangen, ist eine Bleichtherapie in solchen Fällen kontraindiziert. Die Patienten sollten über die entsprechenden Ursachen und Mechanismen von Zahnverfärbungen sowie über eine angepasste Zahnpflege aufgeklärt werden.

### 2.1.2 Intrinsische Zahnverfärbungen

Im Gegensatz zu oberflächlichen Verfärbungen, kann auf die Entstehung intrinsischer Diskolorationen kaum Einfluss genommen werden. Auch sie können sowohl prä- als auch posteruptiv entstehen und viele Ursachen haben. Diese Farbveränderungen können durch mechanische Reinigung nicht behoben werden, da sie sich innerhalb von Schmelz und Dentin manifestieren.

Genetische Defekte können zur Amelogenesis- oder Dentinogenesis imperfecta hereditaria führen, die unter anderem durch bräunliche bis bernsteinfarbene Verfärbungen imponieren (TAATZ 1976).

Bei einer Kongenitalen Erythropoetischen Porphyrie handelt es sich um eine seltene hereditär autosomal rezessiv ererbte Störung der Häm-Synthese, die unter anderem mit einer Erythrodontie, rötlich-braunen Zähnen, die unter langwelligem UV-Licht hellrot fluoreszieren, vergesellschaftet ist. Die Zähne erscheinen durch die Einlagerung von Porphyrinen, vor allem ins Dentin, rot gefärbt. Mikroskopisch stellen sich die Einlagerungen TRODAHL et al. (1972) zufolge band- oder linienförmig dar und entsprechen im Dentin dem Verlauf der hypomineralisierten Owenschen Linien, wo sie brillant fluoreszieren. Im Schmelz werden sie sowohl im Verlauf der ebenfalls hypomineralisierten Retzius-Streifen als auch gleichmäßig verteilt gefunden. Die Stärke der Fluoreszenz ist abhängig von der Konzentration der eingelagerten Porphyrine, die in untersuchten humanen Exponaten je Gramm Dentin zwischen 21 und 470 µg betrug. Im Schmelz wurden je Gramm nur 9 bis 45 µg nachgewiesen. In Zähnen der gesunden Kontrollgruppe dagegen waren maximal 0,42 µg Porphyrin im Dentin und 0,27 µg im Schmelz nachweisbar (TRODAHL et al. 1972, DAYAN et al. 1983, ISSELBACHER et al. 1995).

Ein Morbus haemolyticus neonatalis/fetalis (syn: Erythroblastose), einem hämolytischen Syndrom, welches durch eine Inkompatibilität von Blutgruppenmerkmalen/Rh-Faktoren, zwischen Mutter und Kind gekennzeichnet ist, imponiert durch Verfärbungen. Die durch den mütterlichen Organismus gebildeten Antikörper gegen die Erythrozyten des ungeborenen Kindes verursachen beim Feten eine Hämolyse. Das dabei anfallende Biliverdin (grün) oder Bilirubin (orangerot) lagert sich in die Zahnkeime ein und manifestiert sich sowohl im Milch- als auch im bleibenden Gebiss durch Strukturdefekte der Zähne, die von gelben, grauen, braunen und vor allem von grünen Verfärbungen begleitet werden. (HERRMANN 1965, TAATZ 1976).

Bei Nachuntersuchungen von 102 Kindern, die wegen eines Morbus haemolyticus neonatorum behandelt worden waren, fand HERRMANN (1965) an 68 Milchzähnen Vitalverfärbungen. An histologischen Präparaten von pränatal oder direkt postnatal verstorbenen Kindern fand er intensive dunkelgrüne Verfärbungen nicht nur in den Zahnkeimen, sondern auch im Kieferknochen. Eine Tetrazyklinbehandlung während der Gravidität der Mutter konnte ausgeschlossen werden.

Eine Medikation mit dem Breitbandantibiotikum Tetrazyklin und seinen Derivaten kann während der Zahnentwicklung beider Dentitionen zu schwer therapierbaren Verfärbungen führen. Dabei können zervikale, inzisale oder gebänderte gelbliche bis bräunliche von homogenen Verfärbungen unterschieden werden. Unter der Reaktion des Medikaments mit dem Kalzium des entstehenden Zahnes werden stabile Orthophosphatkomplexe gebildet, die in Hydroxyapatit eingebaut werden und nach der Eruption als gelbe bis graubraune Verfärbungen imponieren, die unter UV-Licht fluoreszieren. (RINDERER 1967, ARENS et al. 1972, TAATZ 1976, DAVIES et al. 1985, MORGENROTH et al. 1996).

Diese Farbveränderung wiesen DAVIES et al. 1985 in vitro nach, als sie der Frage nach dem photochemischen Verhalten von an Hydroxyapatit gebundenem Tetrazyklin nachgingen. Fügten sie zu gelöstem weißem Hydroxyapatit Tetrazyklin zu und bewahrten die Mischung für 15 Minuten dunkel auf, wies diese danach eine gelbe Farbe auf, die sich durch Waschen nicht mehr entfernen ließ und hellgelb fluoreszierte ( $\lambda_{\max}$  525 nm). Von besonderer klinischer Relevanz bei betroffenen Inzisiven ist die Feststellung, dass bei Proben, die mit Licht bestrahlt wurden, sich die Farbe bei nachlassender Fluoreszenz in Purpurrot änderte.

Da Tetrazyklin plazentagängig ist, sollte als Konsequenz auf Tetrazyklingaben vom zweiten Schwangerschaftstrimenon bis zum 8. Lebensjahr des Kindes verzichtet werden.

Kommt es infolge von Erkrankungen während der Zahnentwicklung zu einer Störung des Kalzium-Phosphat-Stoffwechsels, kann dies Dysplasien und somit Verfärbungen von Zähnen zur Folge haben. Hierzu sind Magen-Darm-Erkrankungen, fiebrige Infektionserkrankungen wie Scharlach, Masern und Grippe, Vitaminmangel und Hormonstörungen zu zählen (TAATZ 1976).

Fluorid ist ein wichtiger Baustein für Zähne und Knochen. 1938 publizierte DEAN den Zusammenhang zwischen der Fluoridkonzentration im Trinkwasser und der Karieshäufigkeit bei Kindern. So waren nur 4 % der Kinder, die in Gebieten mit einer Trinkwasser-

Fluoridkonzentration von 0,6 bis 1,5 ppm<sup>1</sup> lebten, kariesfrei. In Gebieten mit einer Konzentration von 1,7 bis 2,5 ppm F<sup>-</sup> hingegen waren es 22 %. Allerdings wiesen in diesem Gebiet 55% aller untersuchten Kinder fluorotische Veränderungen an Zähnen auf.

Kommt es während der Zahnentwicklung zur übermäßigen Fluoridaufnahme, resultieren daraus Form- und Farbanomalien an Zähnen. Bei der sogenannten dentalen Fluorose manifestieren sich in Abhängigkeit von der einmaligen (10 µmol/ml F<sup>-</sup> im Blutplasma) oder chronisch toxischen Überdosierung (> 1 ppm im Trinkwasser) verschiedene Erscheinungsbilder. Ursache hierfür soll ein gestörter Stoffwechsel von Ameloblasten sein, der in einer veränderten Matrix mit unzureichender Mineralisation mündet (BAILEY und CHRISTEN 1968).

Eine Parodontitis apicalis im Milchgebiss kann den Keim des darunter liegenden bleibenden Zahnes schädigen (Turner-Zahn). Der entzündungsbedingt erhöhte Druck führt dann zu Deformationen, Resorptionen und Mineralisationsstörungen am Keim, die sich nach Durchbruch des Zahnes als Deformationen und als gelbe bis braune Flecken manifestieren. Auf Grund der Lage der Keime zwischen den Milchzahnwurzeln sind Prämolaren hierfür besonders prädestiniert (TAATZ 1976).

Auch eine traumatische Einwirkung auf einen Zahn kann zu eindrucksvollen Verfärbungen führen. Während der Zahnentwicklung sind es traumabedingte Einblutungen in den Keim, die zu einer Gelbbraunfärbung führen können (HELLWIG 1999). Werden hierbei Ameloblasten zerstört, kann es zu Deformationen des Schmelzes kommen, in den sich dann verschiedene Farbstoffe einlagern können.

LANGSDORFF beschreibt die Folgen eines Traumas 1874 folgendermaßen: „*Zähne, bei denen durch Schlag, Stoß, Fall und dergleichen eine Berstung der Blutgefässchen in der Pulpa entstanden ist, werden meist sehr rasch entfärbt, d.h. zuerst rötlich, später aber grau und schwärzlich. Die rötliche Färbung rührt von der in die Dentinröhrchen eingesickerten Blutflüssigkeit her; die organischen Bestandteile der Flüssigkeit gehen aber in Zersetzung über und verursachen als zerfallene Materie den gefärbten Reflex im Email.*“

Traumata auf permanente Zähne haben in vielen Fällen eine intrapulpäre Hämorrhagie zur Folge. Beim Untergang von Erythrozyten soll es zur Freisetzung von Eisen kommen, das über die Penetration in Dentintubuli die Graufärbung des Zahnes verursachen soll, wenn es in infizierten Zähnen mit von Bakterien freigesetztem Schwefelwasserstoff

---

<sup>1</sup> parts per million

zu schwarzem Eisensulfid reagiert (FITCH 1861, KIRK 1889, SPASSER 1961, HOWELL 1980, ATTIN et al. 1995).

MARIN et al. (1997) konnten keine freien Eisenionen nachweisen, als sie in einer histochemischen Studie in vitro die Vorgänge untersuchten, die zur Verfärbung nicht infizierter marktoter Zähne führen. Dazu wurden extrahierte Prämolaren exstirpiert, gereinigt und apikal verschlossen. Sie wurden entweder mit Vollblut, Erythrozyten, Blutplasma mit Blutplättchen oder als Kontrollgruppe mit Kochsalzlösung gefüllt und anschließend drei Tage zweimal täglich für 25 Minuten zentrifugiert, um eine Hämolyse nach Trauma zu imitieren. Verfärbungen zeigten sich nur in den Gruppen, die entweder mit Vollblut oder Erythrozyten behandelt worden waren, wobei die allein mit Erythrozyten behandelten Zähne die deutlichsten Verfärbungen aufwiesen, die im pulpenahen Dentin am intensivsten waren und sich abnehmend bis in den Zement hinein ausbreiteten. Der Schmelz erschien pinkfarben.

Durch eine histochemische Analyse sollte die Anwesenheit von Hämatin<sup>1</sup>, Hämoglobin<sup>2</sup>, Hämosiderin<sup>3</sup> oder freien Eisenionen nachgewiesen werden.

Es wurden in allen verfärbten Proben in den Dentintubuli Hämatin und Hämoglobin nachgewiesen, welche demnach die Diskoloration nichtinfizierter marktoter Zähne zu verantworten haben (MARIN et al. 1997, STELLWAGEN 1870).

Ein Zahn kann auch durch ein internes Granulom, das durch Dentinoklasten die Fähigkeit zur Resorption besitzt, von innen heraus ausgehöhlt werden und dadurch eine rötliche Verfärbung aufweisen (SCHRÖDER 1992).

Die altersbedingte Gelbfärbung der Zähne resultiert aus der Abnutzung der Schmelzschicht und dem Durchscheinen des natürlichen gelben Dentins, welches selbst dunkler und transparenter wird (TAATZ 1976) und im Alter zunehmend sklerosiert (ATTIN 1998). Freiliegendes Dentin oder eine reduzierte Schmelzdicke erleichtern natürlicherweise die Penetration von Farbstoffen.

Karies in den verschiedenen Stadien kann als weißer Fleck infolge der Demineralisation imponieren oder als brauner Fleck bei einer Einlagerung von Farbstoffen in denselben. Grau erscheint die den Schmelz unterminierende Karies.

Auch dentale Werkstoffe können vielfältige Verfärbungen verursachen. Sie sind durch Wurzelstifte, Komposite oder Glasionomerezemente und durch eugenol- oder formokresolhaltige Präparate (SPASSER 1961), Wurzelkanalzemente wie AH26 oder Diaket und

---

<sup>1</sup> Hämatin: Eisen-III-Protoporphyrin-Komplex; neutrales Hämin;  
<sup>2</sup> Hämoglobin: roter Blutfarbstoff; Protein Globin 94%, Häm 6%; v.a in Erythrozyten  
<sup>3</sup> Hämosiderin: goldfarben, Eisen-Protein-Verbindung; Eisenspeicher, 37% Eisen

Endomethasone möglich. Diese Verfärbungen zeichnen sich durch eine Abnahme der Helligkeit sowie Veränderung der Farbsättigung und des Farbtones nach rosa (Diaket), orangerot (Zinkoxid-Eugenol, Endomethasone) bis dunkelrot (Riebler-Paste) oder grau (AH26) aus (DAYAN et al. 1983, VAN DER BURGT 1986, PLASSCHAERT und VAN DER BURGT 1988).

Ledermix<sup>®</sup> ist eine gebräuchliche antibakterielle Paste zur Therapie schmerzhafter Pulpitiden. KIM et al. (2000) beobachteten in vitro signifikant dunklere, graubraune Zähne mit einem verringerten Gelbanteil nach der Anwendung von Ledermix im Vergleich zur Kontrollgruppe (NaCl) nach 4 Wochen, besonders wenn die Paste bis in die koronale Kavität hinein appliziert wurde. Dies galt jedoch nur für die Zähne, die während des Versuches unter Sonnenlicht gelagert wurden. Erfolgte die Lagerung im Dunkeln, wurde ein erhöhter Gelbanteil gefunden, wogegen sich die Helligkeit nicht signifikant von der Kontrollgruppe unterschied. Hier sahen die Autoren eine besondere klinische Relevanz in Bezug auf die endodontische Behandlung von Frontzähnen.

Graue Verfärbungen aus Amalgamen können sich als äußerst therapieresistent erweisen (FITCH 1861, KIRK 1889, BROWN 1965, ATTIN et al. 1995).

Es zeigt sich, dass der Zahnarzt durch eine sorgfältige Auswahl und Verarbeitung dentaler Materialien in vielen Fällen späteren Zahnverfärbungen vorbeugen kann.

## **2.2 Bleichverfahren zum externen Bleichen vitaler Zähne**

### **2.2.1 Nightguard-vital-bleaching (home-bleaching)**

1989 publizierten HAYWOOD und HEYMANN das *home-bleaching-Verfahren*. Hierzu bedarf es der Herstellung einer passgenauen individuellen Tiefziehschiene, die vom Patienten mit 2 bis 3 Tropfen 10%igem carbamidperoxidhaltigem Bleichgel je Zahn befüllt und nachts für ca. acht Stunden über einen Zeitraum von zwei Wochen bis zu sechs Monaten getragen wird (CROLL 1994, MATIS et al. 2002).

HAYWOOD und HEYMANN (1989) beobachteten optimale Resultate nach sechs Wochen Anwendung bei moderaten Verfärbungen. Initiale Gingivareizungen sowie leichte Temperatur- und Aufbissempfindlichkeiten waren nach zwei Wochen abgeklungen. Beim Auftreten von Nebenwirkungen könnte die Behandlung bis zum Abklingen der Beschwerden wahlweise unterbrochen oder die tägliche Tragedauer reduziert werden.

Während HAYWOOD et al. (1993) eine Ausdehnung des Trays bis 2 mm auf die Gingiva beschreibt, empfiehlt DUNN (1998) zur Schonung der Weichgewebe, diese nicht zu bedecken und die Trägerschiene mit einem Reservoir für ein möglichst visköses Gel zu versehen.

### **2.2.2 Over-the-counter-Produkte (home bleaching)**

Eine weitere Methode des *home-bleaching* besteht in der Anwendung sogenannter *over-the-counter*-Produkte (OTC), die für den Verbraucher ohne die Überwachung durch einen Zahnarzt angewendet werden können. Sie sind im Handel frei erhältlich. Es finden sich eine Vielzahl verschiedener Produkte, die sich vor allem in den Applikationsarten unterscheiden. Es sind Gele zum Aufpinseln (paint-on) erhältlich sowie Stifte und flexible Kunststoffstreifen als Träger für die Bleichsubstanz. Die Dauer einer Anwendung beläuft sich meist auf einen Zeitraum von ein bis zwei Wochen. Wenn auch durch die Hersteller empfohlen, bleibt es doch dem Käufer überlassen, ob er vor der Anwendung einen Zahnarzt konsultiert, um eventuelle Kontraindikationen feststellen oder Vorbehandlungen durchführen zu lassen.

### 2.2.3 In-office-bleaching

Als Variation des *nightguard-vital-bleaching* ist das *in-office-bleaching* (*waiting-room-bleaching*) zu sehen. Hierfür kommt ebenfalls eine individuelle Schiene als Träger für das Bleichgel zur Anwendung. Allerdings hat das verwendete Peroxid eine höhere Konzentration (15% HP oder 35% CP) als bei der klassischen *home-bleaching*-Methode und wird daher nicht zu Hause, sondern im Wartebereich der Praxis für 30 bis 60 Minuten angewendet. Die Dauer und Häufigkeit der Behandlung ist individuell abhängig vom Bedarf (SULIEMAN 2005b).

### 2.2.4 Chairside-bleaching

Beim sogenannten *chairside-bleaching* werden die Labialflächen vitaler Zähne unter Anwendung hochprozentiger Wasserstoffperoxide auf dem zahnärztlichen Behandlungsstuhl gebleicht. Es kann dazu 17- bis 38%iges HP verwendet werden, welches als Gel oder getränkte Gaze aufgebracht werden kann. Da die Zersetzungsgeschwindigkeit von  $H_2O_2$  bei steigender Temperatur zunimmt (BIRCKENBACH 1909, WEIGERT 1978), kann der Bleichvorgang durch die Zufuhr von Licht oder Wärme katalysiert werden. Das Anlegen eines Kofferdams dient dem zuverlässigen Schutz der angrenzenden Gewebe und wird ergänzt durch Legen von Ligaturen aus gewachster Zahnseide. Ungewachste Zahnseide ist durch ihre Dochtwirkung hierfür ungeeignet. Auch die Anwendung von lichthärtendem Gingivaschutz<sup>1</sup> um Zähne und in Interdentalräumen wird als Alternative beschrieben (SULIEMAN 2005b). Allerdings sind zusätzliche Maßnahmen erforderlich, um Schleimhäute, Zunge und Lippen vor dem Kontakt mit dem Peroxid zu schützen. Die Dauer und Wiederholung der Applikation sind abhängig von Konzentration und Wirkung des Bleichmittels. Hier sind Gesamtzeiten von drei bis dreißig Minuten beschrieben. Abschließend wird eine Politur und Fluoridierung empfohlen (ROSENSTIEL 1991, ATTIN und KIELBASSA 1995, GOLDSTEIN 1997, SULIEMAN 2005b).

Die Akzeptanz von *home-bleaching-Methoden* ist signifikant höher als die des *power-bleaching*. Ein Teil der Patienten begründet dies mit der geringeren Behandlungszeit in der zahnärztlichen Praxis (AUSCHILL et al. 2005). Andere Patienten empfinden das Anlegen von Kofferdam und Ligaturen als unangenehm (ROSENSTIEL et al. 1991)

---

<sup>1</sup> z.B. Butler, Whitening gingival barrier, Sunstar Pharmadent, France.

### 2.2.5 Wirksamkeit

Die aufhellende Wirkung externer Bleichverfahren ist durch in vitro- und in vivo-Studien dokumentiert. Der Grad der Aufhellung scheint von der Art der Therapie sowie von der Konzentration und Anwendungsdauer der Bleichsubstanzen abhängig zu sein (ROSENSTIEL et al. 1991, HAYWOOD et al. 1994, LEONARD et al. 1998, MATIS et al. 1998, SULIEMAN et al. 2003, GERLACH et al. 2004b, AUSCHILL et al. 2005, TSUBARA und YAMAGUCHI 2005).

Viele Autoren publizierten, dass die Aufhellung mit höheren L\*-Werten, also Zunahme des Weißanteils und mit geringeren b\*-Werten, also einer Verringerung des Gelbanteils, einhergeht. Die a\*-Werte sollen nur gering oder nicht signifikant beeinflusst worden sein (ROSENSTIEL et al. 1991, NAKAMURA et al. 1993, 2001, GERLACH et al. 2004b).

In der Literatur finden sich zahlreiche Beschreibungen der *nightguard-vital-bleaching*-Methode, da diese Form der Therapie sich für verschiedene Indikationen über unterschiedliche Zeiträume eignet.

Allgemein wird diese Therapie als effizient, sicher und vorhersagbar eingeschätzt (CROLL 1994, CROLL und SASA 1995, ATTIN 1998, HAYWOOD und LEONARD 1998, SWIFT et al. 1999, LEONARD jr. et al. 1999, 2003, LEONHARD et al. 2001, MATIS et al. 2002, RITTER et al. 2002).

In verschiedenen klinischen Studien wurde auch die Wirksamkeit von frei verkäuflichen over-the-counter-Produkten getestet und publiziert.

FERRARI et al. (2004), GERLACH et al. (2004a) und GERLACH und BARKER (2003) bestätigten eine konzentrationsabhängige (1,8%, 3,3%, 5,3%, 6%, 10% HP) signifikant aufhellende Wirkung von Whitestrips<sup>®1</sup> über Anwendungszeiträume von 7 bis 28 Tagen. Es wurden eine Abnahme des Gelbwertes b\* um bis zu 2,53±0,244 Punkten und eine Zunahme der Helligkeit L\* um bis zu 2,38±0,257 Punkten beobachtet.

Dabei stellten GERLACH und SAGEL (2004) nach einer 14tägigen Anwendung eine signifikant schnellere und bessere Aufhellung bei Whitestrips mit einem Gehalt von 14% HP in einem 0,1 mm dicken Substratfilm fest als in Streifen mit 6% HP und 0,2 mm Dicke. Die Wirkung der 14%igen Streifen zeigte sich bereits nach einer Woche und war am Ende der 14tägigen Anwendung bis zu 49% stärker als bei Anwendung der 6%igen Streifen.

---

<sup>1</sup> The Procter & Gamble Company, Cincinnati, OH, USA.

Bei einer Reevaluation 6 Monate nach Zahnaufhellung durch Whitestrips (5,6% HP, 14 Tage, zweimal täglich 30 Minuten) fanden GERLACH et al. (2002) nur ein geringfügiges Rezidiv. Initial wurde eine Verringerung des Gelbwertes  $b^*$  um  $2,0 \pm 0,126$  Punkte und eine Zunahme der Helligkeit  $L^*$  um  $1,67 \pm 0,185$  Punkte gemessen. Sechs Monate nach Ende der Anwendung waren der  $b^*$ -Wert noch um  $1,47 \pm 0,127$  Punkte geringer und der  $L^*$ -Wert um  $1,48 \pm 0,203$  Punkte höher als vor der Behandlung.

Die Wirksamkeit von *home-bleaching*-Produkten anderer Applikationsart wurde durch die folgenden Untersuchungen belegt.

Für ein 5,9%iges Hydrogenperoxid-Bleichgel<sup>1</sup> zum Aufpinseln fanden GAMBARINI et al. (2003, 2004) eine signifikante Aufhellung um bis zu 4,48 Farbnuancen ( $p < 0,05$ ; Mann-Whitney-Test) der Vita-Farbskala in einer klinischen Studie nach zwei Wochen.

NATHOO et al. (2002) bestätigten die Wirksamkeit ( $3,8 \pm 1,07$  Farbnuancen heller) dieses Produktes.

Zu ähnlichen Ergebnissen kamen NATHOO et al. (2003) nach der Anwendung eines *paint-on*-Produktes (Colgate Simply White Night Clear Whitening Gel) für den nächtlichen Gebrauch durch 59 Probanden über einen Zeitraum von zwei bis drei Wochen. Nach der dreiwöchigen Anwendung fanden die Autoren eine durchschnittliche Aufhellung um ca.  $4 \pm 1,46$  Vitafarben. Der Unterschied zwischen den Produkten, die entweder 25% Carbamidperoxid oder alternativ 8,7% Wasserstoffperoxid enthielten, war nicht signifikant.

COLLINS et al. 2004 hingegen fanden bei Gebrauch eines solchen Bleichgels mit 6% HP (Xtra White, Unilever Oral Care) nach 14 Tagen nur eine um  $1,02 \pm 1,32$  Vitanuancen hellere Zahnfarbe.

Sechs Monate nach Gebrauch eines *paint-on*-Produktes<sup>2</sup> mit 16,4% bzw. 18% Carbamidperoxid, zweimal täglich für 14 Tage, beobachteten BRUNTON et al. (2004) noch signifikant hellere Zähne. Die Aufhellung war initial bei beiden Produkten nicht signifikant unterschiedlich ( $3,7 \pm 2,6$  vs.  $4,1 \pm 2,4$  Vita-Nuancen). Bei der Nachuntersuchung nach 6 Monaten beobachteten die Autoren bei beiden Produkten ein Rezidiv um  $2,3 \pm 2,7$  bzw.  $2,5 \pm 2,5$  Nuancen.

GERLACH et al. hingegen fanden in klinischen Studien weder 2003 noch 2004(b) signifikant hellere Zähne nach Gebrauch von Colgate® Simply White™ Gel mit 18% CP.

---

<sup>1</sup> Colgate Simply-White Clear Whitening Gel, Colgate-Palmolive Company, New York, USA.

<sup>2</sup> Colgate Simply-White Gel, Colgate-Palmolive Company, New York, USA.

Ob der Gebrauch einer schallgetriebenen Zahnbürste nach einer Bleichtherapie den Erhalt der Aufhellung positiv beeinflussen kann, untersuchten KUGEL et al. 2004 in einer klinischen Studie. Dabei stellten sie fest, dass bei Zähnen, die im Anschluss an ein 14tägiges, Tray basiertes *vital-bleaching* (zweimal 1 h/d) mit 15%igem Carbamidperoxid (Opalescence<sup>1</sup>) regelmäßig mit einer schallgetriebenen Zahnbürste<sup>2</sup> gereinigt wurden, die Zahnfarbe nach 6 Monaten noch signifikant heller war als bei Gebrauch einer Handzahnbürste.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die Wirkung der Bleichprodukte sowohl von der Konzentration als auch Anwendungsdauer abhängig zu sein scheint. Obwohl je nach Untersucher Studiendesign und Ergebnisse voneinander abweichen, wurde die Wirksamkeit der frei verkäuflichen, preiswerten Produkte nachgewiesen, wobei aber auch hier eine Konzentrationsabhängigkeit besteht. Es wurden Aufhellungen von ein bis vier Nuancen der Vita-Skala beobachtet, die allerdings nach sechs Monaten Rezidive von bis zu 2,5 Nuancen der Vitaskala aufwiesen.

Wird von den Patienten jedoch ein deutliches und stabiles Ergebnis erwartet, sollte dem *nightguard-vital-bleaching* der Vorzug gegeben werden, welches noch nach zwei Jahren eine bis zu sechs Farbstufen hellere Zahnfarbe möglich macht (SWIFT et al. 1999) bzw. von einigen Patienten selbst noch nach bis zu zehn Jahren als unverändert gut beurteilt wird (RITTER et al. 2002).

Grundsätzlich sollten alle Patienten neben einer Beratung bezüglich ihrer Erwartungen auch auf die Möglichkeiten hingewiesen werden, die sich aus dem Gebrauch einer entsprechenden Zahnbürste ableiten.

---

<sup>1</sup> Ultradent Products Incorporated, South Jordan, USA.

<sup>2</sup> Sonicare® Advance, Philips Oral Healthcare, Inc, Snoqualmie, WA.

### 2.2.6 Nebenwirkungen

GERLACH und SAGEL (2004) beobachteten bei einer vergleichenden Untersuchung von Whitestrips in den Konzentrationen 6% und 14% konzentrationsabhängige Empfindlichkeiten an den gebleichten Zähnen. Während in der Kontrollgruppe (6% H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) 26% der Teilnehmer von Überempfindlichkeitsreaktionen der Zähne berichteten, waren es in der experimentellen Gruppe (14% H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) 42% der Teilnehmer.

Nach LEONARD et al. (1997) beschrieben zwei Drittel der Patienten, die defekte Restaurationen, Schmelz-Zement Abrasionen oder gingivale Rezessionen aufwiesen, während der Anwendung der *nightguard-vital-bleaching*-Methode (alternativ 6-8 Stunden am Tage) mit 10%igem Carbamidperoxid Überempfindlichkeiten. Besonders betroffen waren die Teilnehmer, die das Bleichmittel mehr als einmal täglich erneuerten.

Um dem Auftreten von Überempfindlichkeiten der Zähne vorzubeugen, werden Bleichmitteln desensibilisierende Substanzen beigelegt.

Nach GINIGER et al. (2005) reduziert der Zusatz von amorphem Kalziumphosphat signifikant die thermische und taktile Empfindlichkeit der Zähne während und nach dem Bleichen, ohne die Wirksamkeit zu beeinträchtigen.

Der Frage, ob der Zusatz dieser Substanzen die aufhellende Wirkung von Bleichprodukten beeinflusst, gingen PRETTY et al. (2005) *in vitro* nach. Dazu wurden extrahierte Zähne über einen Gesamtzeitraum von 40 Stunden unter anderem mit 10%igem Carbamidperoxid gebleicht. Es wurden keine Unterschiede in der Wirksamkeit von herkömmlichem Carbamidperoxid und einem Produkt gleicher Konzentration, welches Xylitol, Fluorid und Kalium enthielt, festgestellt.

AUSCHILL et al. (2005) fanden keine signifikanten Unterschiede bei den leichten, reversiblen Nebenwirkungen zwischen den verschiedenen Bleichtherapien, wenn die Zähne mittels *nightguard-vital-bleaching*, *power-bleaching* oder Whitestrips<sup>®</sup> gebleicht wurden.

Andere Probanden berichteten nach Bleichtherapien von initialen Gingivareizungen, die nach drei Tagen nachließen. Leichte Temperatur- und Aufbissempfindlichkeiten waren nach zwei Wochen abgeklungen. (HAYWOOD und HEYMANN 1989, MATIS et al. 1998, COLLINS et al. 2004).

SULIEMAN (2005b) verweist auf Berichte von Anwendern, die für einige Stunden einen metallischen Geschmack nach Herausnahme des Trays beschrieben.

Einen signifikant erhöhten pH-Wert des Speichels von ursprünglich 6,81 auf 7,32 während einer Bleichtherapie mit CP (10%) nach 15 Minuten beobachteten LEONARD et al. (1994). Eine Demineralisation der Zahnhartsubstanz ist demnach durch den Gebrauch dieses Bleichmittels nicht zu befürchten.

Von besonderem klinischen Interesse sind Untersuchungen, die sich mit der Auswirkung von Bleichsubstanzen auf die Haftwerte zwischen Adhäsiven und frisch gebleichtem Dentin befassen. Ist exponiertes Dentin in den Vorgang des Bleichens einbezogen, sollte es nicht sofort im Anschluss an die Behandlung mit Komposit versorgt werden. Die Haftkraft zwischen Adhäsiv und Dentin verringert sich in vivo signifikant (MIGUEL et al. 2004, KAYA und TÜRKÜN 2003). Wurden im Anschluss an eine Behandlung mit 10%igem HP die Dentinproben jedoch für sieben Tage in Speichel gelagert oder für zehn Minuten mit einem Antioxidant (Na-Ascorbat) behandelt, verbessert sich die Haftkraft signifikant und konnten Werte nahe einer unbehandelten Kontrollgruppe erreichen (KAYA und TÜRKÜN 2003). In zahlreichen Studien wurde fast übereinstimmend nachgewiesen, dass die Verringerung der Haftkraft zwischen Dentin und Adhäsiven nur über einen begrenzten Zeitraum anhielt. Abhängig von der Untersuchung ist das Legen von Restaurationen unter Verwendung von Adhäsivsystemen nach 7-15 Tagen ohne Einschränkungen wieder möglich (ELKHATIB et al. 2003, KAYA und TÜRKÜN 2003, KUM et al. 2003, MIYAZAKI et al. 2004, BASTING et al. 2004).

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass das Auftreten von Empfindlichkeiten an Zähnen und Weichgeweben von der Konzentration und Häufigkeit der Anwendung der Bleichmittel abhängig zu sein scheint. Die Patienten sollten darüber entsprechend aufgeklärt werden. Da die Nebenwirkung häufiger bei Anwesenheit von insuffizienten Füllungen, Rezessionen und Abrasionen auftreten, sind die Patienten über eine angemessene Vorbehandlung aufzuklären. Außerdem kann empfohlen werden, die Bleichtherapie bis zum Abklingen der Beschwerden zu unterbrechen.

## 2.3 Bleichsubstanzen

KIRK definierte 1889 Bleichen als eine chemische Reaktion zwischen farbigen Verbindungen und Substanzen, die in der Lage sind, diese unter Zerstörung ihrer Identität von ihrer Farbigkeit zu befreien.

Heute wird Bleichen als das *„Aufhellen der Farbe, (...) chemisch durch Zerstörung der Farbstoffe mit oxidierenden oder reduzierenden Chemikalien (...)“* bezeichnet (MEYERS 1992).

Schon 1840 setzte sich NESSEL mit der Wirkung bleichender Substanzen an den Zähnen folgendermaßen auseinander: *„Alle Zahntinkturen, die man zum Reinigen und Weißmachen anempfiehlt und auch anwendet, enthalten fast immer eine mineralische Säure, vermöge welcher der Zahnstein angelöst wird. Beschränkte sich die Wirkung dieser Tinkturen blos auf den Zahnstein, so wären sie sehr vorteilhaft; da sich aber die zerstörende Wirkung auch auf das Email fortpflanzt und selbes corrodirt, so sind sie zu verwerfen.“*

Derart radikal wirkende Substanzen befinden sich heute selbstverständlich nicht mehr im Gebrauch, sondern wurden durch wesentlich schonendere Wirkstoffe abgelöst.

Als 1968 *Bill Klushmir*, ein amerikanischer Zahnarzt, Patienten mit kieferorthopädischen Schienen diese zur Therapie einer Gingivitis mit carbamidperoxidhaltigem oralen Desinfektionsmittel befüllen ließ, bemerkte er als Nebeneffekt eine Aufhellung der Zähne (ATTIN 1998). Seither sind die Wirksamkeit und Sicherheit von Bleichtherapien mit wasserstoffperoxid- und carbamidperoxidhaltigen Gelen umfangreich dokumentiert.

### 2.3.1 Wasserstoffperoxid (HP)

Wasserstoffperoxid entsteht im menschlichen Organismus als natürlicher Bestandteil bei verschiedenen Stoffwechselfvorgängen. Beispielsweise wird es als Produkt bei Reaktionen, die durch oxidative Enzyme in Peroxisomen katalysiert werden, gebildet (BOVERIS et al. 1972). Trotzdem gilt es auf Grund seiner Fähigkeit zur Radikalbildung als Zellgift und wird rasch - z.B. enzymatisch durch Peroxidasen und Katalasen - abgebaut, da Radikale Proteine, Nuclein- und Fettsäuren schädigen können (MACHU 1951, BOVERIS et al. 1972). Andererseits erfüllt es eine wichtige Funktion bei der Peroxidation von Membranlipiden von Bakterien bei der Phagozytose durch Makrophagen und andere Abwehrzellen (HOFMANN 1996, LÖFFLER & PETRIDES 1998).

Seiner antimikrobiellen Wirkung verdankte Wasserstoffperoxid früher seinen Einsatz bei der Haltbarmachung von Milch, Fisch, Fleisch und der Desinfektion von Trinkwasser (BIRCKENBACH 1909, MACHU 1951).

Unter Anwesenheit von Wärme und Licht zerfällt es durch Fotodissoziation in einer exothermen Reaktion zu Wasser und Sauerstoff (WEIGERT 1978).

Alkalien, die aus Aufbewahrungsgläsern austreten können, oder auch Staub und katalytisch wirkende Substanzen wie Schwermetalle begünstigen den natürlichen Zerfall. Bei Schwermetallen, wie Kupfer- oder Eisenionen, ist eine Konzentration im ppm-Bereich<sup>1</sup> ausreichend, um eine stürmische Zersetzung zu katalysieren (MACHU 1951, HOFMANN 1963, NEUMÜLLER 1977, WEIGERT 1978).

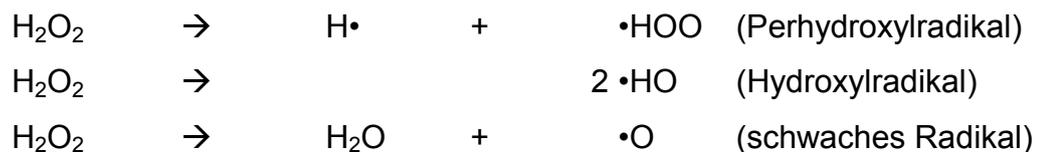
Beim Zerfall des Peroxids bildet sich Sauerstoff, der im Status nascendi bleichend und desinfizierend wirkt (KIRK 1889, NEUMÜLLER 1977).

Bei der exothermen Zerfallsreaktion



entstehen darüber hinaus die Hybride  $\bullet\text{HOO}$  und  $\bullet\text{HO}$  (WEIGERT 1978, STREUDEL 1998).

Somit werden bei der Anwendung des stark oxydierenden Wasserstoffperoxids die folgenden, zum Bleichen benötigten reaktiven Radikale gebildet.



Radikale besitzen in ihrer äußeren Elektronenschale ein ungepaartes Elektron, das die besondere Reaktivität verursacht (HOFMANN 1996).

Ein basisches Milieu (pH-Wert 9,5-10,8) begünstigt den Zerfall von Wasserstoffperoxid und somit die Freisetzung der Perhydroxyl-Radikale, die reaktionsaktiver als Sauerstoff-Radikale sind (MACHU 1951, WIBERG 1976).

Auch Hydroxyl- oder Perhydroxyl-Ionen ( $\text{OH}^-$  bzw.  $\text{HOO}^-$ ) entstehen als weitere aktive Sauerstoffspezies im alkalischen Milieu beim Zerfall des  $\text{H}_2\text{O}_2$  (SCHUMB et al. 1955).

<sup>1</sup> ppm – parts per million

Nach SULIEMAN (2004) gelangen die wirksamen Substanzen entlang eines Konzentrationsgradienten durch Mikroporositäten im Schmelz per Diffusion bis zum Dentin. Dabei sollen sie Chromatogene in kleinere Moleküle zerlegen, die ebenfalls per Diffusion den Zahn verlassen können, bzw. in Moleküle, die weniger Licht absorbieren und daher heller erscheinen. Die Penetration der Zahnhartsubstanz wird durch das kleine Molekulargewicht des Peroxids von ca. 34g/mol möglich (ARWILL et al. 1969, HAYWOOD et al. 1991).

Das Prinzip des Bleichens beruht darauf, dass mit Hilfe des aktiven Sauerstoffs eine Oxidation oder Reduktion der eingelagerten Pigmente in Gang gesetzt wird, um z.B. farbiges Eisen-(II)-Sulfat zu farblosem Eisen-(III)-Sulfat zu oxidieren (WIBERG 1976, NEUMÜLLER 1977) oder das rötliche Eisenoxid  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  ( $\text{Fe}^{3+}$ ) in das farblose  $\text{FeO}$  ( $\text{Fe}^{2+}$ ) zu reduzieren (KIRK 1889, FEINMANN et al. 1991, ATTIN et al. 2003).

Korrekterweise sollte gesagt werden, dass das  $\text{Fe}^{3+}$ -Ion den Zerfall des Wasserstoffperoxids katalysiert und dabei selbst zu  $\text{Fe}^{2+}$  reduziert wird (SHRIVER et al. 1992).

Tetrazyklin enthält in seiner Struktur einen Chinonring, der von zwei Doppelbindungen gekennzeichnet und für die Rotfärbung verantwortlich ist. Unter der Anwesenheit von Wasserstoffperoxid kommt es zur Freisetzung von Hydroxylradikalen, welche beide Doppelbindungen nacheinander angreifen. Das daraus resultierende reduzierte Tetrazyklin erscheint nach Aufbrechen der ersten Doppelbindung hellgelb und nach Verlust der zweiten farblos (FEINMAN et al. 1991).

### 2.3.2 Carbamidperoxid (CP)

Nach MACHU (1951) ist Carbamidperoxid sowohl als Desinfektionsmittel in der Wundbehandlung als auch zur Desinfektion im Nasen-Rachenraum einsetzbar.

In den Konzentrationen von 10 – 15% wurde es 1988 von der FDA (US Food and Drug Administration) als orales Antiseptikum klassifiziert (HAYWOOD et al. 1991).

Die Anwesenheit von Carbamidperoxid in einer Vielzahl von Bleichmitteln veranlasste verschiedene Autoren, die Wirkung dieser Produkte auf kariogene Mikroben zu untersuchen. Dabei wurde festgestellt, dass Carbamidperoxid auch als Bestandteil von Bleichgelen seine antimikrobielle Wirkung im Anwendungsgebiet entfaltet.

So verglichen GÜRGAN et al. (1996) in vitro Bleichprodukte mit 10%igem Carbamidperoxid und 0,2%iges Chlorhexidin in ihrer Wirksamkeit gegen Karies verursachende Streptokokken und Lactobazillen. Dazu wurden die Bakterienkolonien für 24 bis 48 Stunden mit den Substanzen konfrontiert. Es zeigte sich, dass die Bleichprodukte das Wachstum aller getesteten Spezies (*S. mutans*, *S. sanguis*, *S. mitis*, *L. casei*, *L. acidophilus*) um 40 bis > 200% stärker inhibierten als CHX im gleichen Zeitraum.

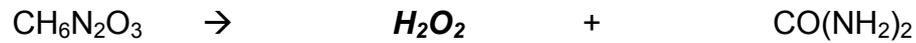
Zu ähnlichen Erkenntnissen gelangten BENTLAY et al. (2000), als sie in vitro feststellten, dass 10%ige carbamidperoxidhaltige Bleichgele bereits nach einer Stunde *Streptococcus mutans* und nach zwei Stunden *Lactobacillus* in ihrem Wachstum zuverlässig inhibierten.

Diese Ergebnisse wurden durch ALMAS et al. (2003) bestätigt, die in einer klinischen Verlaufskontrolle von Mundhygieneindizes während einer dreiwöchigen Therapie mit 10%igem Carbamidperoxid eine statistisch signifikante Entzündungsreduktion des marginalen Parodontiums und eine signifikante Plaquerreduktion feststellten.

In einer klinischen Untersuchung mit neun Probanden, die über sechs Wochen täglich eine Stunde ihre Zähne mit 10%igem CP mittels einer individuellen Schiene bleichten, sollte der Einfluss der Bleichsubstanz auf die Menge kariogener Bakterien im Speichel ermittelt werden. Dazu wurden von jedem Probanden vor und nach der Bleichtherapie je 2 ml stimulierter Speichel gesammelt und untersucht. Die Autoren beobachteten nach der Therapie eine statistisch signifikante Reduktion von Laktobazillen im Speichel, wohingegen *S. mutans* nicht beeinflusst wurde (BENTLEY et al. 2000). Auch wenn nicht alle Fragen geklärt wurden, bestätigen die Labor- und klinischen Untersuchungen die antimikrobielle Wirkung carbamidperoxidhaltiger Bleichprodukte.

Carbamidperoxid zerfällt bei Speichelkontakt in die Bestandteile Wasserstoffperoxid zu 36% und Harnstoff zu 64% (MACHU 1951, FEINMAN et al. 1991).

Die wirksame Komponente ist auch hier das Wasserstoffperoxid.



Der Harnstoff wird anschließend zu Ammoniak und Kohlendioxid abgebaut.



Diese Produkte bewirken einen Anstieg des pH-Wertes, der einerseits die Freisetzung der Perhydroxyl-Radikale aus  $\text{H}_2\text{O}_2$  begünstigt, die den Bleichvorgang initiieren, und andererseits Lactat aus der Plaque inhibiert (STEPHAN 1943).

Carbamidperoxid steht bei Bleichmitteln in verschiedenen Konzentrationen für unterschiedliche Bleichverfahren zur Verfügung.

## 2.4 Wasserstoffperoxid-Wechselwirkungen

### 2.4.1 Biologische Strukturen

Die Anwendung von Bleichmitteln führt in der Regel nicht nur zur erwünschten Aufhellung des Zahnes, sondern auch zu Veränderungen der anderen kontaktierten Strukturen. Der Kontakt zu Gingiva, Zähnen und dentalen Materialien gab deshalb Anlass zu Untersuchungen der Auswirkungen von Peroxiden auf diese Strukturen.

SPALDING et al. geben 2003 zu bedenken, dass es eine natürliche und individuelle Variationsbreite in der Morphologie des Schmelzes von prä- und posteruptiven Zähnen gibt und andererseits Untersuchungsstandards fehlen, was dazu führt, dass Resultate von Untersuchungen oft stark voneinander abweichen.

#### 2.4.1.1 Schmelzhärte nach externem Bleichen

Bei Untersuchungen zur Wirkung von Bleichsubstanzen auf die Oberflächenhärte des Zahnschmelzes gelangen verschiedene Autoren zu gegensätzlichen Resultaten.

So werden in der Literatur gleichermaßen Ergebnisse publiziert, die entweder auf eine unbedenkliche Anwendung bei bestimmungsgemäßem Gebrauch schließen lassen oder aber von einer Schädigung des Schmelzes ausgehen.

JOINER et al. (2004a) führten eine vergleichende Studie zur Veränderung der Oberflächenhärte (Knoop) von Zahnschmelz nach Anwendung von 6%igem HP-Gel<sup>1</sup> bzw. „Sprite light“<sup>2</sup> zweimal täglich für 20 Minuten über 14 Tage in vitro durch. Während sich die Härte selbst nach der 28. Behandlung mit dem Wasserstoffperoxid auch ohne Speichelsubstitution nicht signifikant von den Ausgangswerten unterschied (47,67 vs. 47,68), zeigte sich bemerkenswerterweise bereits nach der zweiten Behandlung mit „Sprite light“ eine hochsignifikante Abnahme (47,77 vs. 73,31).

Eine Veränderung der Schmelzhärte infolge der Anwendung von Bleichsubstanzen wurde auch durch weitere Laboruntersuchungen ausgeschlossen (PUGH et al. 2005, ÜNLÜ et al. 2004, SULIEMAN et al. 2004).

Andere Autoren jedoch kamen zu der Feststellung, dass eine Bleichtherapie zum Härteverlust an der Zahnhartsubstanz führt, der sich allerdings unter physiologischen Be-

---

<sup>1</sup> Xtra White, Unilever Oral Care.

<sup>2</sup> The Coca-Cola Co., Uxbridge, UK.

dingungen, das heißt bei Anwesenheit von Speichel bzw. nach der Substitution remineralisierender Substanzen, sowohl in klinischen- als auch in Laborversuchen als reversibel erwies (TEIXEIRA et al. 2004, LEWINSTEIN et al. 2004).

In welchem Maße die Ergebnisse einer Untersuchung vom Studiendesign abhängen können, belegen die Resultate einer Analyse durch JUSTINO et al. (2004), die bei einer vergleichenden Untersuchung humane Schmelzproben der Wirkung von Bleichsubstanzen sowohl in vitro als auch in situ aussetzten. Dazu wurden 24 Schmelzproben mit einem 10%igen Carbamidperoxidgel (Whiteness<sup>1</sup>, mit Carbopol, pH 7,82) 14 Tage lang (8 h/d) gebleicht. Zwischen den Behandlungen wurde die Hälfte der Exponate in NaCl gelagert, die andere Hälfte wurde Probanden über einen individuell angefertigten Halter oral appliziert. Eine signifikante Abnahme der Vickershärte wiesen nur die extraoral gelagerten Proben auf. Bei den Proben, die von den Probanden unter physiologischen Bedingungen oral getragen wurden, war der geringe Härteverlust nicht signifikant größer als bei ungebleichten Kontrollproben. Dieser Effekt wurde dem Remineralisationsvermögen des Speichels zugeschrieben

Obwohl die Untersuchungsergebnisse der zuvor beschriebenen Studien voneinander abweichen, sollte im Interesse des Patienten zumindest von einem temporären Härteverlust ausgegangen werden. Infolgedessen sollte den Empfehlungen der Autoren McCracken und Haywood (1995) gefolgt werden, die Zähne nicht direkt im Anschluss an das Bleichen zu reinigen. Dies hat allerdings wiederum zur Folge, dass die Empfehlung, direkt im Anschluss an ein *chairside-bleaching* die gebleichten Zähne einer Politur zu unterziehen (ROSENSTIEL 1991, GOLDSTEIN 1997, SULIEMAN 2005b), überdacht werden sollte.

#### 2.4.1.2 Morphologie des Schmelzes

Weder Erosionen noch Demineralisationen fanden PRETTY et al. (2005) in vitro bei Gebrauch von CP verschiedener Konzentrationen (10, 16, 22%) an Zähnen, die über einen Gesamtzeitraum von 40 Stunden gebleicht und zwischenzeitlich in Speichel gelagert wurden.

---

<sup>1</sup> FGM, Joinvile, SC, Brazil.

NUCCI et al. (2004) verglichen zwei OTC-*home-bleaching*-Produkte im Hinblick auf eine mögliche demineralisierende Wirkung an 90 Schmelzproben *in vitro*.

Sowohl Whitestrips<sup>®1</sup> (6% HP) als auch ein 10%iges CP (Platinum TWS<sup>2</sup>) wurden je zweimal 30 Minuten täglich (drei Tage) angewendet und die behandelten Schmelzproben im Anschluss mit Aqua dest. gespült und anschließend in Speichel oder Aqua dest. gelagert. Zum Vergleich wurde ein Teil der Proben zwischen den Behandlungen/Spülungen einer 30minütigen erosiven Attacke mit Milchsäure ausgesetzt und auch in der kariogenen Säure gelagert. Bei der Auswertung wurden allein bei einer ungebleichten, mit Milchsäure behandelten Gruppe Erosionen beobachtet. Die Autoren leiten daraus eine präventive Wirkung der untersuchten Bleichmittel gegen Säureangriffe ab. Ebenso fanden WHITE et al. (2004) unter Einsatz eines Laserscanners keine Veränderung der Oberflächenstruktur von Schmelz nach dem Gebrauch von Whitestrips<sup>®</sup> in den Konzentrationen 5,3% und 6,5% (14 und 70 Stunden) und einer Anwendung von 10- und 20%igem Carbamidperoxidgel (Opalescence<sup>®3</sup>) über einen Zeitraum von 70 Stunden. Zwischen den Behandlungen (zweimal täglich zwei Stunden) wurden die Proben in Speichel gelagert, um eine physiologische Situation nachzustellen.

Auch weitere Autoren fanden keinerlei signifikante morphologische Veränderungen der Oberfläche auf Schmelz und Dentin oder eine Zunahme der Rauigkeit nach bestimmungsgemäßem Gebrauch von Bleichmitteln verschiedener Konzentrationen *in vitro* und *in vivo* (CP 10, 15, 16%, 35%HP) (OLTU et al. 2000, ÇOBANKARA et al. 2004, AUSCHILL 2005).

Andere Autoren widmeten sich der Frage nach den Auswirkungen auf die mineralische Zusammensetzung von Zahnhartgeweben im Verlauf einer Bleichtherapie.

PUGH et al. (2005) suchten nach solchen Veränderungen bei Schmelz nach Anwendung von 10%igem CP<sup>4</sup> und HP (7 und 12%) an zwölf Schmelzproben *in vitro*. Dazu wurden die Proben vor der Bleichbehandlung für sieben Stunden und jeweils zwischen den 14 Behandlungszyklen bei 37°C in Speichel gelagert. Damit entsprach das Studiendesign einem zweiwöchigen *nightguard-vital-bleaching*. Eine Veränderung der Kalzium-Phosphat-Relation nach Anwendung aller genannten Bleichmittel wurde nicht beobachtet.

---

<sup>1</sup> The Procter & Gamble Co., Cincinnati, Oh, USA.

<sup>2</sup> Colgate Oral Pharmaceuticals, Piscataway, NJ, USA.

<sup>3</sup> Ultradent Products Incorporated, South Jordan, USA.

<sup>4</sup> Colgate Platinum Professional Overnight Whitening System, Colgate Oral Pharmaceuticals, Inc., Canton, MA, USA.

Auf die Abhängigkeit der Ergebnisse vom jeweiligen Studiendesign weisen auch die Resultate von JUSTINO et al. (2004) hin, die humane Schmelzproben der Wirkung von Bleichsubstanzen sowohl *in vitro* als auch *in situ* aussetzten. 24 Schmelzproben wurden mit einem 10%igen Carbamidperoxidgel (Whiteness<sup>1</sup>, mit Carbopol, pH 7,82) 14 Tage lang (8 h/d) gebleicht. Die Lagerung der Hälfte der Exponate erfolgte zwischen den Behandlungen in NaCl, die andere Hälfte wurde Probanden über einen individuell angefertigten Halter oral appliziert. Die Autoren bestimmten unter anderem, wie viel Kalzium während des Bleichvorganges aus den einzelnen Proben in Lösung ging. Dazu wurde das Bleichgel gesammelt und der Kalziumgehalt mittels Absorptions-Photospektrometer bestimmt. Sie stellten fest, dass der Verlust von Kalzium *in vitro* signifikant höher war als bei den Proben, die durch die orale Applikation zwischen den Behandlungen einem physiologischen Milieu ausgesetzt waren. Gemessen wurden die Mengen jeweils nach der ersten Behandlung sowie die Mengen des 2. bis 7. und 8. bis 14. Tages. Bei beiden Gruppen zeigte sich nach der ersten Behandlung die größte Menge des Minerals in Lösung, die jedoch bei der *In-vitro*-Gruppe signifikant größer war. In den beiden folgenden Zeiträumen wurde ein dramatischer Rückgang des Kalziumgehaltes in der Lösung beobachtet (*in vivo*: 597->18->7,8 mg/ml - *in vitro*: 1210->251->55 mg/ml). Die unterschiedlichen Ergebnisse wurden dem Remineralisationsvermögen des Speichels zugeschrieben.

Autoren, die z.B. durch die Substitution von Speichel und den bestimmungsgemäßen Gebrauch der Bleichsubstanzen realen Bedingungen nahe kamen, beobachteten entweder keine, weniger oder reversible Schädigungen an der Zahnhartsubstanz.

Naturgemäß weisen bei Produkten gleicher Konzentration jene schlechtere Resultate auf, die einen geringeren pH-Wert aufweisen.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die Konzentration der Bleichsubstanzen indikationsgerecht und so gering wie möglich sein sollte. Bei der Auswahl der Bleichsubstanzen sollte unbedingt auf einen physiologischen pH-Wert geachtet werden. Eine Reinigung der Zähne sollte vor dem Bleichen erfolgen und auf ein Putzen und Polieren direkt nach der Prozedur verzichtet werden. Standardmäßig sollte sich dem Bleichen eine Applikation von farblosen Fluoridpräparaten anschließen.

---

<sup>1</sup> FGM, Joinvile, SC, Brazil.

### 2.4.1.3 *Kariesanfälligkeit*

Von großem klinischen Interesse ist die Frage, ob es nach dem Procedere des Bleichens eine höhere Kariesanfälligkeit gibt, zumal die Auswirkungen auf die Oberflächenmorphologie kontrovers diskutiert werden.

GANß et al. (1997) verglichen in vitro die Anfälligkeit für Karies bei gebleichten und ungebleichten Zähnen. Dazu wurden auf extrahierten Zähnen Bereiche angelegt, die mit 10%igem Carbamidperoxid für zweimal 48 Stunden gebleicht wurden. Analoge Areale dienten als Kontrolle. In beiden Gruppen wurden künstliche Kariesläsionen angelegt, die im Hinblick auf Läsionstiefe und Mineralverlust untersucht wurden.

Es wurden weder in der Tiefe der Läsionen noch im Mineralverlust Unterschiede zwischen behandelten und unbehandelten Schmelzproben festgestellt. Somit gingen die Autoren davon aus, dass gebleichte Zähne keinem höheren Kariesrisiko ausgesetzt sind.

Zu ähnlichen Ergebnissen kam AL-QUNAIAN (2005), als er je acht Schmelzproben von extrahierten Zähnen entweder mit 35%igem HP für neunmal 10 Minuten oder Opalescence in den Konzentrationen von 10 und 20% CP (14 d, 1 h/d) bleichte. Das 20%ige CP enthielt 0,11% Natriumfluorid und 3% Kaliumnitrat als Zusatz. Im Anschluss an die Bleichbehandlung wurden alle Proben mit *S. mutans* infiziert, für zwei Stunden bei 37°C inkubiert und dann in einem Kariesmodell für vier Tage demineralisiert. Ein Speichelerersatz wurde zwischen den Saccharoseapplikationen (3 x 30 min/d) substituiert. Es zeigte sich, dass sich die Läsionstiefe bei den gebleichten und ungebleichten Schmelzproben nicht signifikant voneinander unterschied. Der Autor beobachtete sogar geringere Läsionstiefen bei den Proben, die mit dem 20%igem Carbamidperoxid (mit Fluorid und Kaliumnitrat) behandelt worden waren, als bei deren Kontrollgruppe. Er schließt folgerichtig ein erhöhtes Kariesrisiko infolge einer Bleichbehandlung aus.

#### 2.4.1.4 *Dentin*

Dentin ist bei der Prozedur des Bleichens in jedem Fall den wirksamen Bestandteilen der Bleichmittel ausgesetzt.

WAINWRIGHT und LEMOINE wiesen 1950 in einem Versuch mit radioaktiv markiertem Carbamid nach, dass Substanzen mit kleinem Molekulargewicht den Zahnschmelz sowie das Dentin penetrieren können und schließlich in der Pulpa nachweisbar sind. Aus diesen Gründen ist deren Wirkung auf Dentin von Interesse, zumal es in seiner Morphologie die Passage von vielen Substanzen in Richtung Pulpa ermöglicht.

Darüber hinaus kann der direkte Kontakt der Substanzen zu freiliegendem Dentin beim externen home-bleaching nicht verhindert werden.

#### 2.4.1.5 *Dentinhärte nach externem Bleichen*

Von klinischer Relevanz sind unter anderem Ergebnisse von Untersuchungen, die sich mit den Auswirkungen des externen Bleichvorganges auf die Härte der Zahnhartsubstanzen befassen. Auch hier finden sich zum Teil gegensätzliche Ergebnisse.

WHITE et al. (2004) fanden in vitro unter Einsatz eines Laserscanners weder in der Oberflächenstruktur noch in der Härte Veränderungen bei Dentin nach dem Gebrauch von Whitestrips<sup>®1</sup> in den Konzentrationen 5,3% und 6,5% (14 und 70 Stunden) und der 70-stündigen Anwendung von 10- und 20%igem Carbamidperoxidgel, wenn die Proben zweimal täglich für zwei Stunden gebleicht und in Speichel zwischengelagert wurden.

Eine In-situ-Untersuchung zur Veränderung der Oberflächenhärte von Dentin nach einer Anwendung von 10%igem CP<sup>2</sup> über eine oder sieben Stunden täglich für 21 Tage führten ARCARI et al. (2005) durch. Dazu wurden Dentinproben extrahierter dritter Molaren in individuell angefertigten Gaumenplatten befestigt, die von Probanden getragen wurden. Über verschiedene Tiefziehschienen wurden die Proben für eine bzw. sieben Stunden gebleicht. Die Gaumenplatte war nur zu den Mahlzeiten und während der Zahnpflege zu entnehmen. Lediglich die über sieben Stunden täglich gebleichten Proben wiesen im Mittel eine statistisch signifikante Abnahme der Härte von 5,4% im Vergleich zur unbehandelten Kontrollgruppe auf, die nach Auffassung der Autoren jedoch klinisch vernachlässigbar sei.

---

<sup>1</sup> The Proctor & Gamble Co., Cincinnati, Oh, USA.

<sup>2</sup> Nite White Exel 2Z, Discus Dental.

Auch bei Anwendung anderer handelsüblicher Carbamidperoxid-Produkte<sup>1</sup> in Konzentrationen von 10 bis 22% ist bei Dentin eine produktabhängige Abnahme der Härte zum Ende der Behandlung möglich. Zu der Ansicht gelangten auch FREITAS et al. (2004a), als sie 105 Dentinproben von extrahierten präeruptiven dritten Molaren einer Bleichtherapie über 42 Tage á 8 Stunden unterzogen. Dieses Studiendesign entsprach einem *nightguard-vital-bleaching*. Zwischenzeitlich erfolgte die Lagerung in Speichel. Die Knoop-Härte wurde einen Tag nach Beginn der Behandlung und dann jeden siebten Tag ermittelt. Nach Beendigung der Bleichtherapie wurden die Exponate für zwei weitere Wochen in Speichel gelagert und ebenfalls die Härte nach sieben bzw. 14 Tagen bestimmt. Bemerkenswerterweise wurde bei den Proben, die mit einem Bleichmittel behandelt wurden, dem entweder Kaliumnitrat (Nite White Exel 10% / 22%) oder Fluorid (Opalescence 20%) beigesetzt war, keine statistisch signifikante Veränderung der Härte festgestellt, wohingegen die Produkte, die entweder keinen Zusatz (Opalescence 10%) oder Natriumcitrat (Rembrandt 10% / 22%) enthielten, signifikante Härteverluste aufwiesen. Im Anschluss an die Bleichtherapie zeigten jegliche Proben unter der Lagerung im Speichel eine Remineralisationstendenz.

Diese Resultate wurden in weiterführenden Untersuchungen (Design und verwendete Bleichmittel wie FREITAS et al. 2004a) an zuvor demineralisiertem Dentin durch FREITAS et al. (2004b) untermauert, als sie unter der Prozedur des Bleichens bei den Produkten, denen desensibilisierende Substanzen wie Kaliumnitrat (Nite White Exel 10% / 22%) beigesetzt waren, sogar eine signifikante Erhöhung der Mikrohärtigkeit an den Dentinproben zum Ende der Bleichtherapie fanden. Noch deutlicher war der Effekt bei Anwesenheit von Fluorid in einem Produkt (Opalescence 20%). Auch bei dem Produkt ohne Zusätze (Opalescence 10%) zeigte sich zum Ende der Behandlung eine geringfügige Zunahme der Härte bei der Dentinprobe. Allerdings vermuten die Autoren, dass weniger der Zusatz von Kaliumnitrat, als vielmehr die Abwesenheit von *Carbopol*<sup>®</sup> die Zunahme der Härte zu verantworten hatte.

*Carbopol*<sup>®</sup> (Carboxypolymethylen) ist als wasserlösliches, viscoelastisches Polymer mit hohem Molekulargewicht vielen carbamidperoxidhaltigen Bleichmitteln beigefügt. So ist es z.B. Bestandteil der Bleichmittel Rembrandt 10% und 22%, die in den beiden Untersuchungen (FREITAS et al. 2004a,b) am Dentin einen signifikanten Rückgang der Härte verursacht hatten. Seine Anwesenheit bewirkt die bessere Adhäsion am Zahn, verhindert eine zu schnelle Exposition des Wirkstoffes und begünstigt so die sukzessive

---

<sup>1</sup> Nite White Exel 10% / 22% (Discus Dental); Rembrandt 10% / 22% (Ultradent); Opalescence 10% / 20% (DenMat).

Wirkung an der Zahnhartsubstanz. Gleichmaßen verhindert es den zu schnellen Abbau durch körpereigene Enzyme sowie die Wirkung auf die angrenzenden Weichgewebe. Es resultiert eine drei- bis vierfach längere Wirkdauer (MISEK et al. 1956, BARRY & MEYER 1974, FEINMAN et al. 1991, HAYWOOD et al. 1991, ATTIN 1998, WILLE et al. 2000). Die Autoren gingen davon aus, dass die Eigenschaften von *Carbopol*<sup>®</sup>, die einerseits die bleichende Wirkung begünstigen, gleichzeitig ein Vordringen des remineralisierenden Speichels unterbinden, den pH-Wert des Bleichmittels auf Grund seines sauren Charakters verringern und somit einer Remineralisation entgegenwirken und die Abnahme der Mikrohärtة verursachen.

Nach abschließender Speichelsubstitution im Anschluss an die Bleichtherapie ließ sich bei allen Proben eine Zunahme der Härte auf Werte über die der Eingangsuntersuchung hinaus feststellen (FREITAS et al. 2004b).

#### 2.4.1.6 *Penetration von Bleichsubstanzen und ihre Wirkung auf pulpaie Gewebe*

Die Wirkung von Bleichsubstanzen auf die vitalen Gewebe der Pulpa ist von überragendem Interesse, da die Vitalerhaltung der Zähne als eine der vornehmsten Aufgaben der Zahnmedizin anzusehen ist. Die oft beschriebene Hypersensibilität nach dem Bleichen ist ein ernst zu nehmender Hinweis auf das Vordringen von Bestandteilen der angewendeten Substanzen in die Tiefen des Zahnes.

1969 untersuchten ARWILL et al. den Einfluss verschiedener Substanzen auf das Penetrationsvermögen von radioaktiv markiertem Natrium durch Zahnhartgewebe. Sie stellten fest, dass die vorherige Applikation von 30%igem Wasserstoffperoxid oder Carbamid <sup>22</sup>Na überproportional diese Gewebe passieren ließ. Sie diskutierten unter anderem die Möglichkeit, dass beide Substanzen mit ihrem kleinen Molekulargewicht (34 bzw. 60g/mol) in die Zahnhartsubstanzen eindringen und dort Veränderungen an der organischen Matrix, zum Beispiel eine Denaturierung von Proteinen verursachen könnten. Daraus könne wiederum eine erhöhte Durchlässigkeit für andere Substanzen resultieren.

Diese Erkenntnisse wurden durch weitere Untersuchungen untermauert, in denen das Penetrationsvermögen vieler verschiedener gebräuchlicher Rezepturen und Applikationsformen von Bleichprodukten beobachtet wurde (COOPER et al. 1992, GÖKAY et al. 2005, PUGH et al. 2005)

So fanden nach 15 Minuten Einwirkzeit von Wasserstoffperoxid von extern BOWLES und UGWUNERI (1987) in vitro  $H_2O_2$  in Abhängigkeit von der Konzentration im Pulpenkavum. Außerdem wiesen sie nach, dass eine Erhöhung der Temperatur eine signifikante Erhöhung der Diffusion von  $H_2O_2$  nach sich zog.

Eine Abhängigkeit des Penetrationsvermögens von der Konzentration und der Einwirkzeit frei verkäuflicher Bleichprodukte beobachteten auch SLEZAK et al. (2002) in vitro. Sie untersuchten die Penetration von  $H_2O_2$  aus Colgate Simply White Clear Whitening Gel<sup>®</sup>, welches 18% CP enthält (entspricht 6,5% HP), nach externer Anwendung in das Pulpenkavum. Sie wiesen nach 30 Minuten 2,05  $\mu g$  und nach 60 Minuten 3,10  $\mu g$   $H_2O_2$  nach. Von 25%igem CP gelangten 3,04  $\mu g$  bzw. 3,61  $\mu g$  im gleichen Zeitraum ins Pulpenkavum.

Nach einer 30minütigen Anwendung von Whitestrips mit 6,5% und 14% HP in vitro fanden GÖKAY et al. (2004) 1,1 bzw. 1,95  $\mu g$   $H_2O_2$  im Pulpenkavum.

Dass die Menge  $H_2O_2$ , die nach einem externen Bleaching mit 10- bis 35%igem CP im Pulpenkavum nachzuweisen ist, bei mit Kompositfüllungen versorgten Zähnen 40 bis 80% höher sein kann als bei intakten Zähnen, beobachteten GÖKAY et al. (2000) in vitro.

Eine Korrelation zwischen der Konzentration des auf den Schmelz aufgetragenen Peroxids und der im Zahn nachgewiesenen Menge beobachteten auch BENETTI et al. (2004) in vitro, wobei auch sie mehr Peroxid in Zähnen fanden, die mit Füllungen versehen worden waren.

Ein Vordringen von Peroxiden in das Pulpencavum im Verlauf einer Bleichbehandlung steht nach diesen Veröffentlichungen außer Zweifel. Welche Wirkung sie dort entfalten, war Gegenstand vieler Untersuchungen.

So beobachteten HOFFMANN und MENEHINI (1979), dass es ab einer Konzentration von 10  $\mu M$  (0,34 mg/l = 0,34  $\mu g/ml$ )  $H_2O_2$  bei Fibroblastenkulturen zu Strangbrüchen in ihrer DNA kam, die jedoch nach 10 Stunden zu 90% wieder repariert waren.

BOWLES und BURNS (1992) untersuchten die möglichen Schutzmechanismen der Pulpa vor den Wirkungen der Peroxide nach dem Bleichen durch die pulpalen Enzyme Katalase und Peroxidase<sup>1</sup>. Sie nutzten die Eigenschaft von  $H_2O_2$ , UV-Licht mit einer Wellenlänge von 240 nm direkt proportional zu absorbieren, um durch die Ermittlung der Abnahme der Substratmenge über einen definierten Zeitraum die Aktivität der Ka-

---

<sup>1</sup> Die *Katalase* ist in allen Körperzellen zu finden. Sie spaltet Wasserstoffperoxid in Wasser und Sauerstoff, indem es den Wasserstoff eines  $H_2O_2$  auf ein anderes überträgt (SIEGEL 1996).

*Peroxidase* benötigt zum Abbau von  $H_2O_2$  oxidierbares Substrat.  $H_2O_2 + \text{oxidierbares Substrat} \rightarrow H_2O + \text{oxidiertes Substrat}$ .

talase zu bestimmen. Die Abnahme von  $\text{H}_2\text{O}_2$  infolge der Aktivität der Glutathionperoxidase bestimmten sie auf indirektem Weg ebenfalls spektrophotometrisch über die Messung der an der Reaktion beteiligten Substanzen. Ihren Ergebnissen zufolge eliminierte die Katalase  $0,02 \mu\text{mol}$  ( $0,68 \mu\text{g}$ )  $\text{H}_2\text{O}_2$  je Minute und mg frischen Gewebes. Die Aktivität der Glutathionperoxidase hingegen erwies sich als unbedeutend.

Auch die histologischen Veränderungen der Pulpa gebleichter vitaler Zähne sind von Interesse und wurden von FUGARO et al. (2004) untersucht. Zu extrahierende Zähne wurden zuvor klinisch mit 10%igem CP über einen Zeitraum von bis zu zwei Wochen behandelt. An 16 von 45 Zähnen wurden geringe Veränderungen der koronalen Pulpa nachgewiesen. Ein Teil der Zähne wurde erst 14 Tage nach der Bleichbehandlung extrahiert. Bei deren Untersuchung zeigte sich, dass diese Veränderungen vorübergehender Natur waren. Es wurden keine Hypersensibilitäten beschrieben und weder moderate noch schwere Destruktionen der Pulpa festgestellt, woraus die Autoren eine Unbedenklichkeit des Verfahrens ableiteten.

Es zeigt sich auch in diesen Untersuchungen, dass bei bestimmungsgemäßem Gebrauch durch eine Bleichtherapie die Vitalität der Zähne nicht bedroht ist und Destruktionen vorübergehender Natur sind.

Sicherlich kann die Menge  $\text{H}_2\text{O}_2$ , die infolge der Anwesenheit von Enzymen im Speichel und der Abnahme der Konzentration durch den Verbrauch beim Bleichvorgang in der Zahnhartsubstanz klinisch tatsächlich in das Pulpenkavum gelangt, nicht mit den experimentell ermittelten Mengen gleichgesetzt werden. Es sollte trotzdem von der Anwesenheit des Peroxids in dem vitalen Gewebe ausgegangen werden. So empfiehlt es sich auch aus diesem Grunde, Bleichsubstanzen mit einer möglichst geringen Konzentration anzuwenden. Dies gilt im besonderen Maße für die Zähne, die durch den Verlust ihrer Integrität mit Füllungen versehen wurden, über deren Randspalte mehr Peroxid in den Zahn penetrieren kann.

#### 2.4.1.7 Toxizität

Da die grundsätzlich toxische Wirkung von Wasserstoffperoxid bekannt ist, aber die Nutzung der bleichenden Eigenschaften begehrt wurde, sind viele Studien insbesondere zur Toxizität auf Strukturen durchgeführt worden, die in direkten oder indirekten Kontakt mit der Substanz kommen könnten.

Die Auswirkungen von 30%igem Wasserstoffperoxid auf die Schleimhaut der Zunge von Ratten untersuchten ROTSTEIN et al. 1993. Dazu applizierte er viermal im Abstand von 15 Minuten 5 µl 30%iges H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. Unmittelbar nach der ersten Behandlung zeigte sich klinisch eine Weißfärbung der betroffenen Areale. Kurz darauf traten Ödeme auf, die sich histologisch als subepitheliale Vesikel und ödematöse Zisternen darstellten. Nach einem Tag manifestierten sich auf 90% der Fläche große Ulzerationen, die nach sieben Tagen jedoch fast abgeheilt waren. Eine präoperative Spülung mit Katalase verhinderte jegliche Schädigung der Schleimhäute, was sich sowohl klinisch als auch histologisch zeigte.

Im Tierversuch untersuchten WEITZMAN et al. (1986) die Auswirkung von 3%igem und 30%igem Wasserstoffperoxid und dem Karzinogen DMBA (9,10-dimethyl-1,2-benzanthracene), einem polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoff, der mit Zigarettenkonsum assoziiert ist, allein und in Kombination auf die buccale Schleimhaut von Hamstern. Die Substanzen wurden zweimal wöchentlich über 19 bzw. 22 Wochen appliziert. Die histologische Untersuchung der Präparate zeigte nach 19 Wochen bei über 85% aller Tiere und Gruppen Hyperkeratosen und schuppige Hyperplasien. Eine Ausbildung von hyperchromatischen Zellen, chronischer Entzündung und Karzinomen bei ca. der Hälfte der Tiere in der Gruppe, die allein mit DMBA behandelt wurden, wurden nach 22 Wochen beobachtet. Fünf von sieben wiesen hier Dysplasien auf. Ungefähr 55% der mit DMBA und 3%igem HP behandelten Tiere zeigten alle genannten Symptome. An allen mit DMBA und 30%igem HP behandelten Versuchstieren wurden im gleichen Zeitraum hyperchromatische Zellen, Dysplasien und Karzinome nachgewiesen. Kam nur 30%iges HP zur Anwendung, waren an acht von neun Tieren chronische Entzündungen, an vier von neun hyperchromatische Zellen und Dysplasien, jedoch an keinem Tier Karzinome beobachtet worden.

An Mäusen und Hamstern studierten auch COLLET et al. 2001 die Wirkung von 10%igem Carbamid, allein und kombiniert mit dem Kanzerogen DMBA, auf Haut und

orale Mucosa. Die Wirkstoffe wurden über vierzehn Tage appliziert. Die Untersuchung der Präparate erfolgte zwei bis 34 Wochen nach Ende der Versuche. Es fanden sich nach 14 Wochen bei allen Hamstern Tumore in den Wangentaschen, wenn nur DMBA eingesetzt wurde, jedoch kein Tumor und keine Hyperplasie der Mucosa bei Verwendung von CP allein oder CP in Kombination mit DMBA nach 34 Wochen. Auf der Haut der Mäuse manifestierten sich nach 10 Wochen bei 90% der Tiere Tumore, bei denen kein Carbamidperoxid zugesetzt wurde. Kein Tier, bei dem DMBA mit CP verwendet wurde, wies nach 10 Wochen Tumore auf. Die Autoren leiten daraus die Schlussfolgerung ab, dass sich aus der Anwendung von CP in der verwendeten Konzentration kein erhöhtes Risiko für die Entwicklung eines Malignoms ableitet.

WOOLVERTON et al. fanden in ihren Versuchen ebenfalls keine Hinweise auf mutagene Eigenschaften von 10%igem CP.

Weder klinische noch histopathologische Veränderungen in Zellen der oralen Mucosa von Ratten fanden GOMEZ et al. (2002) im Tierversuch, nachdem über drei Monate zweimal wöchentlich 35% CP angewendet wurde.

Der Frage, welche Konsequenzen das Verschlucken der zum Bleichen verwendeten Peroxide hat, gingen REDMOND et al. 1997 nach. Sie verabreichten 36 Ratten 5 g/kg KG Natural White<sup>1</sup>, ein Bleichmittel mit 6% H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. Innerhalb von zwei Stunden waren sechs Versuchstiere mit perforiertem Ösophagus und Gas gefülltem Magen verendet. Die anderen Tiere wurden nach 15 Minuten, 2 Stunden, einer bzw. zwei Wochen geopfert. Bereits nach 15 Minuten zeigten sich vergrößerte, gasgefüllte Mägen mit dilatierten Gefäßen und Rupturen der Mucosa. Nach zwei Stunden fanden sich zusätzlich komprimierte Gefäße und Blutarmut. Nach einer Woche wurden jedoch keine Unterschiede zur unbehandelten Kontrollgruppe mehr festgestellt. Die Autoren selbst halten das Ereignis für unwahrscheinlich, dass ein Mensch eine Menge von 5g/kg KG zu sich nehmen könnte (REDMOND et al. 1997).

Die Folgen einer oralen Aufnahme unterschiedlicher Mengen Carbamidperoxid studierten auch DAHL und BECHER 1995 im Tierversuch. Über eine Magensonde wurden Ratten zwischen 5, 15 oder 50 mg/kg KG<sup>2</sup> Carbamidperoxid oder 150 bzw. 500 mg/kgKG 10%iges Opalescence<sup>®3</sup> (entspricht 15 bzw. 50 mg/kg KG CP) verabreicht. Bei den Untersuchungen der Präparate wurden nach einer Stunde Rupturen der Ma-

---

<sup>1</sup> Asthete Laboratories, Laguna Niguel CA, USA.

<sup>2</sup> Milligramm je Kilogramm Körpergewicht.

<sup>3</sup> Ultradent Products Incorporated, South Jordan, USA.

genschleimhäute bei Tieren gefunden, denen 15 mg CP/kg KG zugeführt wurden. 24 Stunden nach Gabe von 15 bzw. 50 mg CP/kg KG zeigten sich nekrotische Areale, die sich offensichtlich teilweise in Heilung befanden.

Den Empfehlungen von HAYWOOD und HEYMANN (1989) folgend, werden individuelle Schienen zum Home-Bleaching je Zahn mit ca. 3 Tropfen 10%igem carbamidperoxidhaltigen Bleichgel befüllt. Werden 10 Zähne in einem Kiefer gebleicht, kommen 30 Tropfen zur Anwendung.

Nach DAHL und BECHER (1995) wiegt ein Tropfen ca. 30 mg. Dies entspricht bei 30 Tropfen einer Gesamtmenge von 900 mg 10%igem CP, die 90 mg CP enthält. Die Autoren gehen davon aus, dass je Applikation ca. 10% der Menge, also 9 mg CP, verschluckt werden. Ausgehend von ihren Ergebnissen, dass es ab einer einmaligen oralen Substitution von 15 mg/kg KG CP bei Ratten zu Magenulzerationen kommt, müsste ein 70 kg schwerer Mensch vergleichsweise 1050 mg CP (entspricht 10500 mg 10%iges CP) zu sich nehmen, was einer Menge von etwa 350 Tropfen eines 10%igen Bleichgels gleichkäme. Allerdings gingen die Autoren davon aus, dass menschliche Gewebe 10mal empfindlicher reagieren als tierische und bezogen einen Sicherheitsfaktor von 100 in ihre Berechnungen ein. Daraus errechneten sie, dass ein 70 kg schwerer Mensch nicht mehr als 10 mg reines CP je Tag zu sich nehmen dürfte, um das Risiko von Magenulzerationen zu vermeiden.

Da Carbamidperoxid unter Speichelkontakt in 36% HP und 64% Harnstoff zerfällt (HANKS 1993), kämen 10 mg CP einer Menge von 3,6 mg HP gleich.

Laut Angaben von Proctor & Gamble (2002) sollen blend-a-med Whitestrips je Applikationsstreifen 10 mg H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> enthalten. Wird auch hier davon ausgegangen, dass ca. 10% der Bleichmittel verschluckt werden, würden bei gleichzeitiger Anwendung von zwei Streifen (OK und UK) theoretisch 2 mg bzw. bei zweimaliger Anwendung am Tag 4 mg HP durch Verschlucken in den Gastrointestinaltrakt gelangen. Somit kann unter Berücksichtigung des hohen Sicherheitsfaktors der bestimmungsgemäße Gebrauch sowohl von Gelen als auch von Streifen als unbedenklich bezeichnet werden.

Darüber hinaus wurde in den nachfolgend genannten Untersuchungen das Potential physiologischer Mechanismen im Speichel nachgewiesen, durch die Peroxide schon vor dem Verschlucken zum Teil unschädlich gemacht werden.

2002 untersuchten SLEZAK et al. in vivo, wie viel Wasserstoffperoxid nach regelrechtem Gebrauch von einem 16%igem CP-Bleichgel, welches auf die Zähne aufgepinselt wird, im Speichel nachzuweisen war. Dazu wurde die H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-Konzentration des jeweils

gesammelten Speichels vor und 1, 5, 15 und 30 Minuten nach Applikation spektrophotometrisch bestimmt. Es zeigte sich ein Anstieg von Null auf durchschnittlich 296 ppm ( $0,1\% = 1000\text{ ppm} \rightarrow 296\text{ ppm} = 0,0296\%$ ) nach einer Minute. Bereits nach 5 Minuten wurde ein Rückgang auf 42 ppm ( $= 0,0042\%$ ) gemessen. Nach 30 Minuten war kein Peroxid im Speichel mehr nachweisbar.

Auch HANNIG et al. (2005) schätzten die Bleichtherapie selbst unter ungünstigsten Bedingungen als sicher ein. Sie beobachteten, dass generell die Konzentration von  $\text{H}_2\text{O}_2$  im Speichel initial am höchsten war, aber innerhalb der ersten Minuten schnell abnahm. Aus einem Bleichgel ohne Carbopol (Vivastyle, CP 10%, 2,67 mg) wurden signifikant größere Mengen des Peroxids in den Speichel abgegeben als bei visköseren Gelen mit Carbopol (Opalescence 10%  $\rightarrow$  0,78 mg, 15%  $\rightarrow$  1,52 mg). Signifikant mehr  $\text{H}_2\text{O}_2$  war im Speichel nachweisbar nach Applikation von Whitestrips als bei Tray basierten Anwendungen. Abhängig von der Applikationsart wurden insgesamt zwischen 0,78 (Opalescence 10%) und 3,25 mg (Whitestrips OK)  $\text{H}_2\text{O}_2$  während einer 30minütigen Behandlung im Speichel nachgewiesen, der im Verlauf der Untersuchung gesammelt wurde. Der Speichel-pH-Wert erhöhte sich im Verlauf der Bleichtherapie nicht signifikant.

## 2.4.2 Dentale Werkstoffe

### 2.4.2.1 Zahnfarbene Füllungsmaterialien

#### 2.4.2.1.1 Durchlässigkeit und Haftkraft zahnfarbener Füllungsmaterialien

Natürlich besteht der Wunsch nach weißen Zähnen nicht nur bei Menschen mit primär gesundem Gebiss, sondern auch bei jenen, die über mehr oder weniger Restaurationen verfügen. Das wirft die Frage auf, wie sich dentale Materialien bei einer Konfrontation mit Peroxiden verschiedener Konzentrationen über zum Teil relevante Zeiträume verhalten, zumal eine Veränderung des Materials unter Umständen eine aufwändige und kostspielige Erneuerung zur Folge haben könnte.

Externes Bleichen mit 10%igem CP über 14 Tage á acht Stunden führt trotz anschließender 14-tägiger feuchter Lagerung zur signifikant höheren Farbpenetration entlang der Füllungsgrenze an unmittelbar danach gelegten Zahnhalsfüllungen aus Komposit in vitro. Allerdings räumen die Autoren die Möglichkeit besserer Resultate ein, wären die Proben in Speichel gelagert worden (ULUKAPI et al. 2003).

Anzahl, Qualität und Penetrationstiefe von „*resin tags*“ sind für den Verbund zwischen Zahnhartgewebe und dem Füllungsmaterial verantwortlich.

1991 fanden TITLEY et al. auf gebleichtem bovinem Schmelz die Kompositzapfen in niederer Qualität und Quantität neben Arealen, auf denen gar kein Adhäsiv/Komposit nachzuweisen war. Oft waren nur Fragmente von Verzäpfungen zu erkennen, die zudem porös waren. Die Autoren vermuten eine Inhibition der Polymerisation der Komposite durch die Freisetzung von Sauerstoff aus den Peroxiden bzw. Porositäten in den „*tags*“ durch Gaseinschlüsse.

Die Haftung von wasser- bzw. alkoholbasierten selbststützenden Primern und Adhäsiven auf gebleichtem bovinem Schmelz untersuchten auch MIYAZAKI et al. (2004) in vitro. Auch sie beobachteten, dass diese sich nach viermal drei Minuten Bleichen (35% HP) auf bis zu 17% (17,8 auf 3,0 MPa) im Vergleich zur Kontrollgruppe verringerte. Elektronenmikroskopisch zeigten sich bei ungebleichtem Schmelz nach dem Konditionieren mit verschiedenen Systemen Verzäpfungen zwischen Komposit und Schmelzprismen, die sich bei gebleichtem Schmelz nur unvollkommen ausprägten. Allerdings war nach einer Lagerung der gebleichten Zähne in aqua dest. für 24 Stunden vor Gebrauch der

Adhäsivsysteme kein signifikanter Unterschied zur Kontrollgruppe mehr feststellbar (MIYAZAKI et al. 2004).

TITLEY et al. (1993) beobachteten an gebleichten Zähnen (60 min, HP 35%) sogar eine Reduktion der Haftkraft von neuen Kompositfüllungen auf ca. 40% (18,2 auf 7,1 MPa) bei vorheriger Konditionierung der Zahnhartsubstanz mit Phosphorsäure und dem Gebrauch von Primer/Adhäsiv. An den Verbundstellen präsentierten sich große Zonen ohne Verbindung zwischen Zahnhartsubstanz und Komposit. Wo eine Verbindung bestand, zeigte sich das Füllungsmaterial granulös und irregulär.

Experimentell herbeigeführte Brüche verlaufen demzufolge innerhalb der Klebefuge Schmelz/Adhäsiv und nur als seltenes Ereignis innerhalb von Schmelz oder Komposit (BASTING et al. 2004, MIYAZAKI et al. 2004).

Werden gebleichte Schmelzproben vor Legen der Füllung 15 Tage dem remineralisierenden Einfluss von Speichel ausgesetzt, verringert sich die Haftkraft von Adhäsiven/Kompositen an Schmelz im Vergleich mit einer Kontrollgruppe nicht. Dabei ist es unerheblich, welche Konzentration das angewendete CP aufweist (10, 15, 16, 20 und 22%) (BASTING et al. 2004).

Die Anwendung verschiedener Photopolymerisationslampen (Halogenlampe, LED-Lampe, Xenon-Plasma-Lampe) beim Anfertigen von Kompositfüllungen auf gerade gebleichtem Schmelz hat keine signifikanten Unterschiede in der Haftkraft von Adhäsiven zur Folge, fanden LORETTO et al. 2004 in vitro heraus.

KUM et al. stellen 2003 in vitro fest, dass eine dreiminütige Substitution von Katalase auf gebleichtem Schmelz nach der Bleichtherapie zu den gleichen Haftwerten führt wie bei der Kontrollgruppe. Kommt Ethanol zur Nachbehandlung zur Anwendung, sind die Werte signifikant geringer. Die Benutzung von Wasserspray zeigt praktisch keine Wirkung. Als Ursache für die Reduktion der Haftkraft vermuten die Autoren nicht nur die veränderte Schmelzoberfläche, sondern auch die Wirkung verbliebenen Peroxids auf das Adhäsiv selbst.

Abhängig von der Untersuchung, ist das Legen von Restaurationen unter Verwendung von Adhäsivsystemen nach 7-15 Tagen ohne Einschränkungen wieder möglich (ELKHATIB et al. 2003, KAYA und TÜRKÜN 2003, KUM et al. 2003, MIYAZAKI et al. 2004, BASTING et al. 2004).

#### 2.4.2.1.2 Rauigkeit und Härte zahnfarbener Füllungsmaterialien

Welche Auswirkung der Gebrauch von Bleichmitteln mit 10- bzw. 15%igem Carbamidperoxid<sup>1</sup> über einen Zeitraum von acht Wochen, acht Stunden täglich auf die oberflächliche Rauigkeit verschiedener zahnfarbener Füllungsmaterialien des Herstellers 3M<sup>2</sup> hatte, untersuchten WATTANAPAYUNGKUL et al. 2004 in vitro. Sie beobachteten am Komposit *Filtek Z250* keine bzw. nicht signifikante Veränderungen an den Kompositen *Filtek flow*, *Filtek A110* und *Z100* im Vergleich zur Kontrollgruppe. Wurde *Filtek flow* mit 15%igem Opalescence gebleicht, waren die Proben signifikant rauer als bei Anwendung des 10%igen Produktes. Das Kompomer *F2000* zeigte nach dem Bleichen eine signifikante Zunahme der Rauigkeiten um mehr als 0,2 µm - die sich unter dem Elektronenmikroskop als Risse und Krater manifestierten - in Abhängigkeit von Zeit und Konzentration im Vergleich zur Kontrollgruppe. Die Autoren nahmen an, dass die Füllstoffe der Kompomere anfälliger seien für Hydrolyse und Oxidation. Sie empfahlen, zahnfarbene Füllungsmaterialien im Anschluss an eine Bleichtherapie grundsätzlich neu zu polieren bzw. gegebenenfalls zu erneuern.

KIM et al. untersuchten die Wirkung von Bleichgelen und -streifen zum Homebleaching (reale Konzentration 3,0-6,5% HP) auf verschiedene Komposite (Nano- und Mikrofüller und Hybride) in vitro. Sie fanden Farbveränderungen, die elektronisch messbar, aber unterhalb der Wahrnehmung lagen, und teilweise erhöhte Rauigkeiten, jedoch unter 0,3 µm. Die Verfasser schätzen die Wirkung der verwendeten Bleichmittel auf Komposite daher als unbedeutend ein (KIM et al. 2004).

Bleichen mit CP und HP (3-30% HP) führt nach ROSENTRITT et al. (2005) bei zahnfarbenen Füllungsmaterialien neben Verfärbungen und einer Zunahme der Oberflächenrauigkeit zur Reduktion der Vickershärte (kg/mm<sup>2</sup>)(200g/60s), die bei Kompomer (*Dyract*, Fa. Dentsplay De Trey GmbH, Deutschland) und mikrogefülltem Komposit (*Charisma*) mit geringem Füllkörperanteil (≈ 60%) 50% erreichen kann. Bei dem Ormocer (*Definite*) wurde durch die Autoren nur eine statistisch nicht signifikante Abnahme beobachtet.

CAMPOS et al. (2003) fanden keine signifikanten Veränderungen der Mikrohärtigkeit bei Kompositen (*Charisma*, *Durafill*), aber bei modifiziertem Glasionomermaterial und Kompomer (*Vitremer*, *Dyract AP*) nach Bleichen mit CP (10 und 15%). Modifizierte Glasio-

<sup>1</sup> Opalescence, Ultradent Products Incorporated, South Jordan, USA.

<sup>2</sup> 3M Dental Products, St Paul, MN, USA.

nomerzemente (*Fuji II LC*, Fa.GC Corp, Tokio, Japan) wiesen außerdem nach Bleichbehandlungen mit CP (10-16%) Rauigkeiten und Risse mit einer Tiefe bis zu 83 µm auf. Mikrogefüllte Komposite zeigen nach TURKER und BISKIN (2003) nach dem Bleichen nicht nur oberflächliche Porositäten, sondern eine Abnahme des anorganischen Füllstoffes Siliziumdioxid um ca. 4%. Auf dentaler Keramik hingegen verursacht Bleichen eine nicht signifikante Rauigkeit, jedoch ebenfalls eine Reduktion des  $\text{SO}_2^-$  Gehaltes um bis zu 4,8%.

DUSCHNER et al. 2004 fanden keine Veränderungen von Mikrohärtigkeit und Rauigkeit bei dentaler Keramik<sup>1</sup> nach Gebrauch von CP und HP (real HP 3,3 – 6,7%) im Vergleich zur Placebogruppe in vitro. Diese Ergebnisse wurden durch SCHEMENHORN et al. 2004 bestätigt.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass zahnfarbene Materialien, ausschließlich Keramiken, durch Bleichsubstanzen in ihrer Güte beeinträchtigt werden können. Diese Resultate sind von klinischer Relevanz, da sie belegen, dass im Anschluss an eine Bleichtherapie möglicherweise eine zeit- und kostenintensive Erneuerung von restaurativen Materialien erforderlich werden kann. Darauf sind Patienten unbedingt hinzuweisen.

---

<sup>1</sup> *Duceram*®, Ducera GmbH, Stuttgart, Deutschland

#### 2.4.2.2 Amalgam

Eine Bleichtherapie muss nicht auf die Frontzähne beschränkt sein, sondern kann im Bedarfsfall auf die Prämolaren ausgedehnt werden. In der Praxis sind hier nicht selten Amalgamfüllungen zu finden. Damit ist eine Wirkung auf amalgamgefüllte Zähne nicht auszuschließen.

Die Wirkung von Peroxiden aus dentalen Bleichmitteln verschiedener Konzentrationen auf Amalgame unterschiedlichen Typus wird in der Literatur kontrovers diskutiert. Die Untersuchungen befassen sich mit den Einflüssen von Bleichsubstanzen auf die physikalischen und chemischen Veränderungen der Legierung, wie die Oberflächenbeschaffenheit, die Härte und die Abgabe von Quecksilber in Lösung und Umgebungsluft. Dabei scheint es eine Abhängigkeit von der Morphologie der Legierungsbestandteile und der Konzentration und Anwendungsdauer der Peroxide zu geben.

CERTOSIMO et al. (2003) stellten nach Anwendung von verschiedenen Bleichmitteln (10%, 15% CP und 7,5% HP) auf hochkupferhaltigen Kugelamalgamen eine Freisetzung von Quecksilber in vitro fest. Dazu wurden angefertigte Amalgamproben nach einer einwöchigen Alterung bei 37°C den Bleichmitteln für einen, fünf oder zehn Tage jeweils 8 Stunden lang ausgesetzt. Zwischenzeitlich erfolgte die Lagerung in Kochsalzlösung. Die ermittelten Hg-Werte schienen abhängig von der Konzentration der verwendeten Peroxide zu sein und beliefen sich auf 0,41 bis 0,83 mg/m<sup>3</sup> nach 40 Stunden bzw. auf 0,64 bis 1,94 mg/m<sup>3</sup> Atemluft nach 80 Stunden. Nach 8 Stunden unterschieden sich die freigesetzten Mengen Quecksilber allerdings noch nicht signifikant von denen einer Kontrollgruppe (NaCl).

ROBERTELLO et al. (1999) fanden bei Untersuchungen von Mischamalgamen nach Bleichen mit 10%igem Carbamidperoxid über einen Zeitraum von 80 Stunden (10 Tage á 8 Std.) Werte zwischen 0,47 bis 0,98 mg Quecksilber je m<sup>3</sup> Atemluft. Nach acht bzw. vierzig Stunden (fünf Tage á 8 Stunden, dazwischen Lagerung in NaCl) waren noch keine signifikanten Unterschiede im Vergleich zur Kontrollgruppe (NaCl) festgestellt worden.

Eine Abhängigkeit von der Anwendungsdauer scheint sich damit zu bestätigen. Das lässt den Schluss zu, dass von den in der vorliegenden Studie untersuchten frei verkäuflichen Produkten mit einer Anwendungszeit von 14 Tagen á 1 Stunde kein Risiko für den Anwender zu erwarten ist.

Eine Betrachtung der Randdichte von Amalgamfüllungen vor und nach einer Bleichtherapie zeigte im Vergleich zur ungebleichten Kontrollgruppe keine signifikante Veränderung. Allerdings war bei beiden Gruppen eine Penetration von Farbstoffen entlang der Füllungsgrenze zum Teil bis ins Dentin feststellbar (ULUKAPI et al. 2003).

Auch Untersuchungen zum Einfluss von Bleichmitteln auf die Oberflächenhärte von Amalgamen wurden publiziert. So reduzierte sich nach CAMPOS et al. 2003 die Oberflächenhärte von Silberamalgam nach Anwendung von CP in Abhängigkeit von der Konzentration signifikant.

DUSCHNER et al. (2004) hingegen beobachteten eine geringfügige Zunahme der Vickershärte im Vergleich zur Kontrollgruppe. Darüber hinaus stellten sie ein fleckiges Erscheinungsbild der Oberfläche fest.

SCHEMENHORN et al. (2004) fanden dagegen selbst bei 2000-facher Vergrößerung keine Oberflächenveränderung nach Anwendung von 6%igem HP auf hochkupferhaltigem Amalgam.

Signifikant mehr Quecksilber wird aus älteren sowie unpolierten Füllungen in Abhängigkeit von der Zeit und dem pH-Wert des Bleichmittels freigesetzt (ROTSTEIN et al. 2004).

Bei Untersuchungen zum Korrosionsverhalten von verschiedenen dentalen Legierungen, poliertem und unpoliertem Amalgam bei Konfrontation mit 10%igem Carbamidperoxid, wies poliertes Amalgam die geringste Korrosionsrate auf (CANAY et al. 2002). Die Autoren empfahlen daher zu Recht, diese Füllungen vor einer Bleichtherapie zu polieren.

In der Praxis ist es praktisch nicht möglich, Zusammensetzung, Alter und Herstellungsverfahren der Amalgame an bestehenden Restaurationen festzustellen. Daher liegt es in der Verantwortung der Behandler, von einem Risiko für den Patienten auszugehen, wenn Amalgamrestaurationen in die Bleichtherapie einbezogen sind. Dies gilt insbesondere für Patienten, die sich in Folge schwerer Diskolorationen (z.B. als Resultat einer Tetrazyklintherapie) einer langfristigen Bleichtherapie unterziehen.

Ist eine länger währende Bleichtherapie geplant, sollte der Austausch von Amalgamfüllungen vor Beginn der Behandlung erwogen werden. Da auch zahnfarbene Füllungsmaterialien von ungewollten Veränderungen betroffen sein können, könnte eine temporäre provisorische Versorgung erwogen werden.

## 2.5 Zahnfarbe und Farbbestimmung

*„Im engeren Sinne ist Farbe das Merkmal einer vom Auge vermittelten Empfindung, durch die es möglich ist, Unterschiede in der spektralen Zusammensetzung des in das Auge einfallenden Lichtes zu erkennen. Diese Farbempfindung ist sehr subjektiv. Selbst wenn man von Farbenfehlsichtigkeit absieht, ist die Farbempfindlichkeit der Augen verschiedener Menschen nicht völlig gleich; sie ist sogar bei ein und demselben Menschen über längere Zeit nicht gleichbleibend und kann in verschiedenen Situationen, z.B. abhängig vom Ermüdungszustand, sehr wechselhaft sein.“* (KAPPERT und BREGLER 1992).

Wenn MÖNKMEYER (1992) sagt, dass es kein anderes Objekt gäbe, welches Licht auf so vielschichtige Weise reflektiert wie der menschliche Zahn, offenbaren sich, im Zusammenhang mit dem oben genannten Zitat die Probleme, mit denen ein Zahnarzt in der täglichen Berufspraxis konfrontiert ist. Nicht nur die funktionellen Schwankungen der eigenen Sinnesorgane, sondern auch die Differenzierungen innerhalb eines Zahnes machen eine korrekte Farbbestimmung äußerst schwierig. Es ist praktisch nicht möglich, sich auf *eine* definitive Zahnfarbe festzulegen, da mehrere Farben und Qualitäten an jedem Zahn aufzufinden sind, der zudem noch durch Besonderheiten wie Verfärbungen, Sprünge u.a. in sich differenziert sein kann. Dies zeigt sich spätestens, wenn ein Zahn ästhetisch restauriert werden soll.



**Abb. 1:** Vita® Farbring

Zur visuellen Bestimmung der Zahnfarbe sollen Farbmusterzähne bei der Auswahl der geeigneten Materialfarben behilflich sein. Seit ca. 50 Jahren sind Vita-Farbringe (Abb. 1) in vielen Praxen weltweit im Gebrauch und haben sich hinreichend bewährt.

Allerdings zeigten Untersuchungen von dentalen Farbringen, dass es gravierende Unterschiede bei Farbmusterzähnen derselben Farbe gab. Das betraf gleichermäßen Farbmuster derselben und anderer Hersteller. KAPPERT und BREGLER verglichen 1992 je zwei Vita<sup>1</sup>,- Biodent<sup>2</sup> und Chromascope<sup>3</sup>- Farbringe. Die Feststellung der Farbe erfolgte sowohl durch unterschiedliche Personen an verschiedenen Orten als auch elektronisch. Es gab teilweise exzellente Übereinstimmungen, aber auch dramatische Abweichungen. „Des einen A2 ist des anderen C3“, rekapitulierten die Autoren. Außer-

<sup>1</sup> VitaZahnfabrik, Bad Säckingen, Deutschland

<sup>2</sup> De Tray Dentsplay, Dreieich

<sup>3</sup> Ivoclar, Schaan, Liechtenstein

dem wiesen die Musterzähne, in Anlehnung an den natürlichen Zahn, in sich Abweichungen sowohl in der horizontalen als auch in der vertikalen Ausdehnung auf. Die Farbabstände waren innerhalb eines Zahnes bemerkenswerterweise größer als zu anderen Musterzähnen.

Diese Feststellungen deckten sich mit Untersuchungen von Farbringen durch SETZ (1992).

Bei Studien verschiedener Farbringe stellte BROWNING (2003) fest, dass die Farbabstände der nach Helligkeit sortierten Vita-Musterzähne beispielsweise über eine Distanz von je vier Musterzähnen von A3 bis B4 einem  $\Delta L^*$  von 3,6 und von A3 bis A2 von  $\Delta L^*$  0,6 entsprach.

Sowohl KAPPERT und BREGLER (1992) als auch YAMAMOTO (1998) fanden außerdem, dass der Farbbereich der natürlichen Zähne durch den Vita-Farbring nicht ausreichend abgedeckt wird und dass eigentlich nicht klar ist, welche Stelle des Zahnes mit welcher Stelle des Musterzahnes zu vergleichen ist.

*„Als Zahntechniker würde ich wohl ziemlich selbstverständlich weder gegenüber dem Vita-Farbindikator noch gegenüber anderen entsprechenden Farbmustern irgendeinen Verdacht hegen; doch für mich, der ich industriell mit Farbstoffen zu tun habe, sind solche Farbmuster eine regelrechte Verrücktheit.“* (YAMAMOTO 1998).

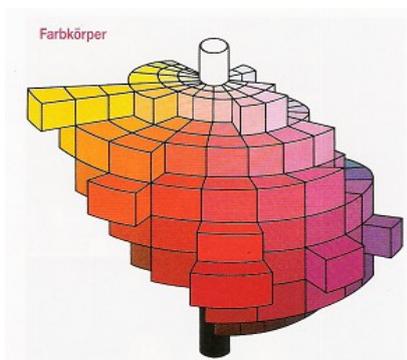
Allerdings räumt der Autor ein, dass eine Standardisierung in der visuellen Zahn-Farbbestimmung praktisch unmöglich ist. Der Betrachter unterliegt Schwankungen in seinem Farbsinn, die durch Müdigkeit oder Medikamente ausgelöst werden können. Die Umgebungsbedingungen, wie Helligkeits- und Farbkontrast, Lichteinfallswinkel oder Art des Lichtes beeinflussen ebenfalls die Farbwahrnehmung. Optimal - und den Industriestandards entsprechend - wären eine Normallichtquelle D65 (z.B. weiße Standard-Xenon-Lampe) mit einer Beleuchtungsstärke in der Farbmusterungsebene von mindestens 1000 lx und höchstens 5000 lx, ein Beleuchtungs-/Betrachtungswinkel von 45° und eine Person, die über einen uneingeschränkten Farbsinn verfügt und deren Auge helladaptiert ist (DIN 5033-7, DIN 6173-1,2). Alternativ sei auch *„Mittagslicht an der Nordseite zwischen drei Stunden nach Sonnenaufgang und drei Stunden vor Sonnenuntergang geeignet, sofern Umgebungseinflüsse, wie etwa benachbarte Gebäude oder die Raumausstattung, ausgeschlossen sind.“* (YAMAMOTO 1998).

Wie wenig diese Verhältnisse in einer zahnärztlichen Praxis umzusetzen sind, liegt auf der Hand. Allein die Forderung nach DIN 6173-1 Abs. 2.3.5, nach der *„Probe und Muster [...] in möglichst neutral-graue[m], matte[m] Umfeld (Hintergrund und Untergrund)*

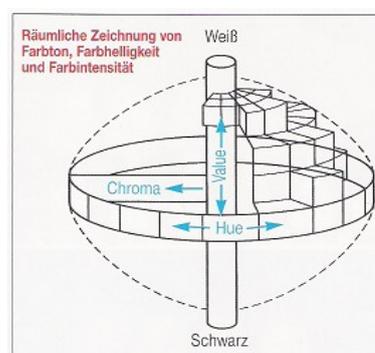
[...] abgemustert werden [...]“ sollen, ist schon auf Grund der oralen Anatomie nicht realisierbar.

Auch sind zahnärztliche Operationsleuchten wenig geeignet, die geforderten Lichtverhältnisse zu realisieren. Das belegten die Ergebnisse von FALLSCHÜSSEL (1985), als er Leuchten von Behandlungseinheiten verschiedener Hersteller untersuchte. Keine der untersuchten Leuchten konnte den Anforderungen an die Bedingungen zur Farbbestimmung gerecht werden. Ursache dafür ist auch die Divergenz zwischen der Forderung nach einer ausreichenden Ausleuchtung des Arbeitsfeldes mit einer Helligkeit von mindestens 8000 lx (FALLSCHLÜSSEL 1985) und den DIN-Normen, die für einen reproduzierbaren visuellen Farbgleich eine Helligkeit von  $1000\text{lx}_{\min}$  bis  $5000\text{lx}_{\max}$  festlegen.

Angesichts der Schwierigkeiten bei der Farbbewertung entwickelte die Industrie verschiedene Messverfahren zur Zahnfarbbestimmung, die objektiv und reproduzierbar sein sollten. Als grundlegendes Problem ist wohl die Tatsache anzusehen, dass es sich bei der Farbwahrnehmung um einen individuellen sensorischen Vorgang handelt. So wurden Wissenschaft und Industrie vor die Herausforderung gestellt, Farbe messbar zu machen und dabei zu erreichen, dass gleiche metrische Abstände gleichen empfundenen Abständen entsprechen.



**Abb. 2:** Räumliches Modell von Hue, Value, Chroma (YAMAMOTO 1998)



**Abb. 3:** Räumliche Zeichnung Hue, Value, Chroma (YAMAMOTO 1998)

Vor 100 Jahren definierte Albert Munsell, ein amerikanischer Künstler, drei Dimensionen einer Farbe: den Farbton (Hue), die Helligkeit (Value) und die Farbsättigung (Chroma) (BEST 1984). Aus einem zunächst zehnteiligen,

gleichabständigen Bunttonkreis, in dem sich stets Bunttöne gegenüberlagen, die sich – seiner Auffassung nach – miteinander zu Unbunt mischen ließen (kompensative Bunttöne) und sich in Buntheit und Helligkeit gleich waren, entwickelte er durch Mischungen sein vollständiges Farbsystem.

Allerdings sollte sich zeigen, dass z.B. Bunttöne verschiedener Sättigung nicht auf einer Geraden, sondern auf einer gekrümmten Linie lagen. Außerdem zeigte sich, dass gleiche Strecken nicht gleichen empfindungsmäßigen Farb-

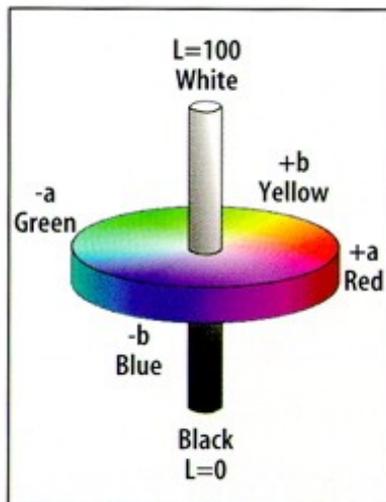


Abb. 4: Lab-Model (BARTHEL 2006)

abständen entsprachen. Trotzdem fanden fortan diese drei Merkmale einer Farbe Eingang in die verschiedenen Farbsysteme (RICHTER 1981).

Somit diente das *Munsell Color System* als Grundlage für die heute gebräuchliche Definition von Farben im dreidimensionalen Raum über das CIE  $L^*a^*b^*$ -System<sup>1</sup> (auch CIELAB-System). Dabei steht der  $L^*$  - Wert für die Helligkeit (Lumineszenz) auf der Schwarz – Weiß – Achse. Je höher der  $L^*$  - Wert, desto „weißer“ ist ein Objekt.

Diese Achse umfasst einhundert dimensionslose Einheiten, von denen die „100“ für Weiß und die „0“ für Schwarz steht. Die  $a^*$  - und  $b^*$ - Werte geben die jeweilige Richtung der Farben an. So weisen positive  $a^*$ - Werte in die Rotrichtung, negative in die Grünrichtung. Negative  $b^*$ - Werte bezeichnen die Blaurichtung, positive die Gelbrichtung (Abb. 4). Dabei haben alle Bunttöne gemeinsam, dass sie umso weniger gesättigt sind, je näher sie am unbunten Ursprung liegen (Abb. 2 und 3; YAMAMOTO 1998).

Mit  $E^*$  lässt sich ein genauer Farbort im dreidimensionalen Raum beschreiben. Der Abstand zweier Farborte  $E^*$  wird definiert als  $\Delta E^*$  und kann nach der folgenden Formel berechnet werden (DIN 6174).

$$\Delta E^* = \sqrt{(\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2 + (\Delta L^*)^2}$$

$$\Delta L^* = L^*_{\text{Farbort 1}} - L^*_{\text{Farbort 2}}$$

$$\Delta a^* = a^*_{\text{Farbort 1}} - a^*_{\text{Farbort 2}}$$

$$\Delta b^* = b^*_{\text{Farbort 1}} - b^*_{\text{Farbort 2}}$$

Ein durchschnittlich normales Auge kann im LAB-System Farbunterschiede ( $\Delta E^*$ ) ab dem Betrag 1 unterscheiden. Es ist in der Lage, ganz feine Unterschiede in der Farbe oder auch Farbgleichheit zu erkennen (SEGHI et al. 1989, KAPPERT und BREGLER 1992) und unter Veränderung von Hue, Value und Chroma mehr als 1 Million Farben zu unterscheiden (RICHTER 1981, GOLENHOFEN1997).

<sup>1</sup> CIE: Commission International De L'Eclairage = Internationale Beleuchtungskommission

### 2.5.1 Elektronische Farbbestimmung

Mit Einführung der DIN<sup>1</sup> 5033 wurden Grundbegriffe der Farbmeterik definiert und Vorschriften zur Farbbestimmung etabliert. Ziel des DIN-Farbsystems war es, „*ein empfindungsgemäß möglichst gleichabständiges Farbsystem, aufgebaut auf den anschaulichen Begriffen Buntton/Sättigung/Helligkeit...*“ zu schaffen (RICHTER 1981).

Die theoretischen Grundlagen machen es möglich, über Farbmessgeräte reproduzierbare Farbmaßzahlen zu ermitteln.

An dieser Stelle muss darauf hingewiesen werden, dass die Begriffe Kolorimeter bzw. Kolorimetrie nach der DIN 5033-1 den Verfahren und Messgeräten der Chemiker zur Feststellung von Lösungskonzentrationen vorbehalten sein soll. Soll also die Farbe eines nicht selbst leuchtenden Körpers gemessen werden, sollte dem Begriff „Farbmessgerät“ der Vorzug gegeben werden.

Natürlich können Farborte nur verglichen werden, wenn die Werte sich auf einen einheitlichen Ausgangspunkt beziehen, bei dem es sich idealerweise um einen „vollkommen mattweißen Körper“ handeln soll. Zu diesem Zweck ist jedes elektronische Farbmessgerät vor einer Messung zu kalibrieren. In der DIN 5033-9 werden dazu die Anforderungen an den Weißstandard geregelt.

Elektronische Messverfahren zur Zahnfarbbestimmung können sowohl berührend als auch berührungslos sein.

Je nach technischem Aufbau werden bei den berührenden Verfahren Farbmessung nach der Tristimulus-Direkttablesemethode (nach DIN 5033-6 Dreibereichsverfahren) und Spektral-Farbmessung (nach DIN 5033-4 Spektralverfahren) unterschieden.

Im ersten Fall (z.B. Shade EyeNCC, Fa. Shofu, Japan) wird das vom Messobjekt reflektierte Licht verschiedener Wellenlänge durch drei Typen spezifischer Sensoren erkannt, deren Empfindlichkeiten der der Zapfen des Auges nahe kommen. Dieses verfügt über drei verschiedene Rezeptortypen für die Farbwahrnehmung (Zapfen). Treffen elektromagnetische Wellen bestimmter Wellenlänge auf die Netzhaut, werden die entsprechenden Rezeptoren angeregt. Dabei liegen die Absorptionsmaxima der Zapfen für Blau bei 450 nm, für Grün bei 530 nm und für Rot bei 625 nm (HOFMANN 1996).

Die Farbempfindung des menschlichen Gehirns ergibt sich schließlich aus den Einzelerregungen für Buntton und Helligkeit, die in einer untrennbaren Gesamtwirkung münden

---

<sup>1</sup> Deutsches Institut für Normung e.V.

(RICHTER 1980, BARTELS/BARTELS 1995). In internen Mikrocomputern der Farbmessgeräte werden die eingegangenen Werte umgerechnet und als  $L^*a^*b^*$ -Werte - oder optional umgerechnet als Zahnfarben - ausgewiesen.

Bei Spektral-Farbmessgeräten (z.B. Castor<sup>TM</sup>, Fa. Nordmeditech, Flensburg) wird das Reflektionsspektrum des Messkörpers gemessen. Ein Lichtleiter dient sowohl der Beleuchtung des zu vermessenden Gegenstandes mit Lichtwellen zwischen 380 und 780 nm (entspricht der spektralen Empfindlichkeit des menschlichen Auges (RICHTER 1980)) als auch der Aufnahme und dem Transport des reflektierten Lichtes. Dieses wird über Fotodioden in 512 Frequenzbereiche zerlegt. Die  $L^*a^*b^*$ -Werte werden durch einen Mikrocomputer aus der Intensität der Spektralanteile errechnet und ausgewiesen LEIBROCK et al. (1995).

Ein großer Nachteil der berührenden Messverfahren in der Zahnfarbbestimmung ist das ausgesprochen kleine Messfeld. Da der Messkopf dem Messobjekt vollständig auf einem planen Areal aufliegen muss, bieten sich am Zahn nur wenige geeignete Messstellen an. Das macht es schwierig, bei jedem Messvorgang den gleichen Ort zur Messung aufzusuchen. Hier erweisen sich Justierhilfen wie individuelle Schienen als unerlässlich (LEIBROCK et al. 1995).

Darüber hinaus wird berührenden Verfahren eine schlechte Übereinstimmung mit der visuellen Bewertung nachgesagt. In Untersuchungen zur Übereinstimmung von visueller und elektronischer Farbbestimmung stellte YAMAMOTO (1998) fest, dass „eine Übereinstimmung zum Sinneseindruck nicht herstellbar ist“. Einer der Gründe dafür ist sicherlich die Diskrepanz der Größen des zu bewertenden Areals. Während der Betrachter bei der visuellen Bewertung den Zahn als Ganzes einschätzt, werden bei der elektronischen Messung lediglich einige ausgesuchte Quadratmillimeter vermessen, obwohl bekanntermaßen ein Zahn mehrere Farben und Qualitäten in sich vereint. Allerdings besitzen berührende Verfahren den großen Vorteil, von den Umgebungsbedingungen unabhängig zu sein.

Bei Untersuchungen von LEIBROCK et al. (1995) beeinflussten lediglich extreme Lichtverhältnisse der Umgebung, wie Dunkelheit oder Rotlicht die Messergebnisse.

Berührungslose Messungen wiederum sind – wie die visuelle Farbbestimmung - unbedingt auf standardisierte Bedingungen (z.B. definierte Abstände, Mustergrößen und Lichtverhältnisse) angewiesen, um reproduzierbar zu sein. Während sich in der Industrie oder in einem zahntechnischen Labor solche Bedingungen mit einigem Aufwand herstellen lassen, sind sie für die zahnärztliche Praxis praktisch nicht umsetzbar. So

bedarf die Nutzung des CS 100 (Minolta) - als Beispiel für ein berührungsloses Verfahren nach der Stimulus-Direktablesemethode - einer Dunkelbox, die jeglichen Lichteinfall verhindert, und eine definierte separate Beleuchtungsquelle mit einem Lichteinfallswinkel von 45°. Um eine Reproduzierbarkeit zu erreichen, ist außerdem eine sichere Fixierung des Messobjektes in einem festgelegten Abstand erforderlich (YAMAMOTO 1998). Dies gilt auch für ein digitales Bildverarbeitungsverfahren (digital imaging), das unter Verwendung hochleistungsfähiger Digitalkameras (z.B. Kodak Nikon DCS410, Eastman Kodak Company, Rochester, NY, USA) und einer entsprechenden Computersoftware (z.B. Adobe Photoshop 5.0 software, Adobe Systems Inc., Seattle, WA, USA) unter definierten, reproduzierbaren Bedingungen (Lichtquelle, Beleuchtungswinkel, Aufnahmewinkel, Fixierung des Kopfes des Patienten) eine computergestützte Ermittlung der Zahnfarbe ermöglicht (GUAN et al. 2005).

Dem praktisch nicht realisierbaren Aufwand zur Anwendung berührungsloser Farbbestimmungsverfahren in der zahnärztlichen Praxis steht dagegen eine gute Übereinstimmung mit den visuellen Farbeindrücken gegenüber (YAMAMOTO 1998).

Abschließend sollte gesagt werden, dass es der Industrie inzwischen gelungen ist, Farbmessgeräte am Markt zu etablieren, die leicht zu bedienen und äußerst handlich sind. Die Schwierigkeiten zu den Umgebungsbedingungen lassen sich durch den Gebrauch eines Gerätes zum berührenden Verfahren umgehen. Dabei wird allerdings kaum die Prozedur des Vorher – Nachher – Vergleiches bei einer Bleichtherapie den Ausschlag für die Anschaffung geben. Das große Potential der Geräte liegt vielmehr in der restaurativen Zahnheilkunde. Jedem Praktiker sind die Probleme einer eindeutigen Farbbestimmung bekannt, wenn zum Beispiel ein Frontzahn mit einer Krone versorgt werden soll. Natürlich soll der Ersatz den benachbarten Zähnen angepasst sein. Eine Bestimmung der Farbparameter an verschiedenen relevanten Stellen des Zahnes ist dabei unerlässlich. Hier stellt solch ein Farbmessgerät eine echte Hilfe dar, zumal die Hersteller diesen Geräten entsprechend angepasste Keramiksysteme zur Seite stellen.

### 3. Fragestellung

In der Literatur wurde durch zahlreiche In-vitro- und In-vivo-Studien die aufhellende Wirkung externer Bleichverfahren dokumentiert. Allgemein wird davon ausgegangen, dass der Grad der Aufhellung von der Art der Therapie und von der Konzentration und Anwendungsdauer der Bleichsubstanzen abhängig zu sein scheint.

Viele Autoren publizierten, dass die Aufhellung durch eine Erhöhung der L\*- und/oder Abnahme der b\*-Werte verursacht wird. Die a\*-Werte sollen nur einen geringen oder nicht signifikanten Einfluss haben.

Bei Untersuchungen nach sechs Monaten wurden bereits Rezidive bei verschiedenen Produkten beobachtet. Allerdings waren die Zahnfarben noch heller als vor der Behandlung.

Beobachtete Empfindlichkeiten von Zähnen und Gingiva waren gering und abhängig von Konzentration und Anwendungsdauer.

Ziel der vorliegenden Untersuchung war der Vergleich von vier frei verkäuflichen Bleichprodukten bezüglich ihrer Wirkung und Akzeptanz.

*Dazu wurden die folgenden Arbeitshypothesen aufgestellt:*

- Alle zu untersuchenden Bleichprodukte könnten zu einer mess- und wahrnehmbaren Aufhellung der Zähne führen.
- Die Aufhellung wird durch abnehmende b\*- und/oder zunehmende L\*-Werte verursacht.
- Die a\*-Werte werden gering bis nicht signifikant beeinflusst werden.
- Die Wirkung wird abhängig von der Konzentration, Applikationszeit und Anwendungsdauer sein:
  - Der Wirkstoff von *blend-a-med Whitestrips* wird durch den Streifen vor Verdünnung und Elimination durch den Speichel geschützt. Demzufolge könnte die Wirkung dieses Produktes am ausgeprägtesten sein.
  - Von der Konzentration ausgehend, wird wahrscheinlich die Wirkung der Produkte in folgender Reihenfolge abnehmen: *el-ce med Easy White* mit 7-8% H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, *Colgate Simply White* mit 5,9% H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> und *Perlweiss Bleaching Weiss*, das real nur ca. 4% H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> enthält und zudem nur für eine Woche angewendet werden soll.
- Rezidive sind nach vier Monaten möglicherweise noch nicht zu erwarten.
- Die Akzeptanz der Produkte wird von ihrer aufhellenden Wirkung abhängen.

## **4. Probanden und Methoden**

Die klinische Studie erforderte die Genehmigung seitens der Ethikkommission der Medizinischen Fakultät der Charité – Universitätsmedizin Berlin, die für diese Untersuchung erteilt wurde.

### **4.1 *Probandenauswahl und Screeninguntersuchung***

100 allgemeinmedizinisch gesunde Probanden wurden ausgewählt. Die Eignung für eine Teilnahme an der Studie wurde in einer Screeninguntersuchung nach den folgenden Ein- und Ausschlusskriterien ermittelt.

Die Probanden sollten 12 eigene Frontzähne besitzen, die nicht durch größere sichtbare Füllungen oder Kronen versorgt und im Mittel nicht heller als A2 waren.

Als Ausschlusskriterien galten schwere Allgemeinerkrankungen, Alkoholismus, starkes Rauchen, bekannte Überempfindlichkeit gegen in der Studie verwendete Substanzen, Schwangerschaft und Stillzeit, schwerwiegende orale Erkrankungen, z.B. akute ulzerierende Gingivitis, akute Gingivostomatitis (z.B. bei AIDS), kieferorthopädische Apparaturen, überempfindliche Zahnhälse, Schmelzrisse oder Schmelzsprünge und eine vorab durchgeführte Bleichtherapie.

Die erste Untersuchung (Screening) diente der definitiven Auswahl der Probanden.

Im Verlauf der Screening-Untersuchung erfolgte die detaillierte Aufklärung über das Procedere, wurde die allgemein- und zahnmedizinische Anamnese erhoben und über die Eignung als Proband entschieden. Jeder der geeigneten Teilnehmer erhielt die Bedingungen zur Studienteilnahme in schriftlicher Form ausgehändigt.

Anschließend wurde bei jedem Probanden eine professionelle Zahnreinigung unter Einsatz von Ultraschall- und Handinstrumenten, Zahnseide sowie einer Zahnpolitur durchgeführt. Den Abschluss bildete die Abformung von Ober- und Unterkiefer.

## **4.2 Vorbereitung**

Von den in der Screeninguntersuchung vorgenommenen Abformungen wurden im Zeitraum bis zur Eingangsuntersuchung (U1) Gipsmodelle angefertigt, auf denen für jeden Probanden individuelle Messschienen aus transparentem, weichbleibendem Kunststoff (Abb. 5) jeweils für den Ober- und Unterkiefer im Tiefziehverfahren angefertigt wurden. Zu diesem Zweck wurden die Modelle mit dem Ziel analysiert, an jedem der zwölf vorgesehenen Zähne (Front- und Eckzähne OK und UK) eine geeignete, reproduzierbare Messstelle zur vergleichenden Farbanalyse zu finden. Die Messstellen sollten sich auf einem möglichst planen Areal befinden, um ein genaues Aufsetzen des Farbmessgerätes zu ermöglichen. Dabei wurde ein Messbereich im zervikalen Drittel des Zahnes angestrebt, da dieser Bereich die größte labiolinguale Dimension aufweist und somit ein Durchstrahlen des Lichtes reduziert wird (YAMAMOTO 1998).

Die Schienen (Abb. 5) erhielten an jeder vorher ermittelten Messstelle für jeden der zwölf Frontzähne eine Bohrung mit einem Durchmesser von fünf Millimetern, die genau den Abmessungen der Kontaktspitze (ShadeEye Contact Tip) des Messgerätes entsprachen. Die so vorbereiteten Schienen ermöglichten der Untersucherin, zu jedem beliebigen Zeitpunkt die vorher bestimmten Messstellen zur Messung aufzusuchen.

Bis zur Eingangsuntersuchung wurde außerdem ein Verteilerschlüssel erarbeitet, um sicherzustellen, dass sich in jeder der vier Probandengruppen möglichst gleiche Probandentypen befanden. Es sollte erreicht werden, dass sich Raucher bzw. Nichtraucher sowie Probanden mit eher helleren und eher dunkleren Zahnfarben gleichmäßig verteilt werden. Außerdem sollten sich die Probanden in Bezug auf Alter und Geschlecht ausgewogen auf die einzelnen Produktgruppen verteilen.

Von den insgesamt 100 Probanden waren 55 Teilnehmer weiblich, 65 Teilnehmer waren Nichtraucher.

Die Verteilung auf die einzelnen Produktgruppen ist Tabelle 2 zu entnehmen.

**Tabelle 2:** Anzahl der zugeordneten weiblichen und männlichen Probanden sowie Raucher und Nichtraucher der verschiedenen Bleichtherapien

	<b>blend-a-med Whitestrips</b>	<b>Colgate Simply White</b>	<b>el-ce med Easy White</b>	<b>Perlweiss Bleaching Weiss</b>
Weiblich	13	12	14	15
Männlich	12	13	11	10
Nichtraucher	16	16	17	16
Raucher	9	9	8	9

Die Tabelle 3 stellt den Altersmittelwert der Probanden der verschiedenen Bleichtherapien dar.

**Tabelle 3:** Anzahl der Probanden (N) und Altersverteilung zum Zeitpunkt der Eingangsuntersuchung

<b>Produkt</b>	<b>N</b>	<b>Minimum</b>	<b>Maximum</b>	<b>Median</b>	<b>Mittelwert</b>	<b>Standardabweichung</b>
blend-a-med Whitestrips <sup>1</sup>	25	18,85	50,32	34,24	33,40	9,94
Colgate Simply White <sup>2</sup>	25	16,85	60,02	28,59	31,83	10,33
el-ce med Easy White <sup>3</sup>	25	17,98	57,56	31,36	33,99	10,60
Perlweiss Bleaching Weiss <sup>4</sup>	25	18,15	66,96	35,18	34,86	11,14

<sup>1</sup> The Proctor & Gamble Company, Cincinnati, OH, USA.

<sup>2</sup> Colgate-Palmolive Company, New York, USA.

<sup>3</sup> Dental-Kosmetik GmbH & Co. Kg, Dresden, Deutschland.

<sup>4</sup> Church & Dwight UK Ltd., Folkestone, England.

### 4.3 Untersuchungen (U1 - U4)

Jede dieser Sitzungen begann mit einer Inspektion der Mundschleimhäute sowie der Erhebung verschiedener Mundhygieneindizes (Approximalraum-Plaque-Index, Papillenblutungs-Index, Plaque-Index nach Silness/Löe). Die Vitalität der zwölf Zähne wurde mittels Kältetest festgestellt. Diese Untersuchungen wurden in einem Untersuchungsraum auf einer zahnärztlichen Behandlungseinheit durchgeführt.

Drei Wochen nach der Screeninguntersuchung wurde die Eingangsuntersuchung (U1) durchgeführt. Dort erhielt jeder Proband je eine Zahncreme<sup>1</sup>, eine Zahnbürste<sup>2</sup> und eines der in Tabelle 4 genannten Bleichprodukte zur häuslichen Anwendung.

Die Verteilung der Bleichprodukte wurde durch eine Assistenz untersucherblind vorgenommen.

**Tabelle 4:** In der Studie angewendete Bleichprodukte, Wirkstoffe und Anwendung.

Produkt	Wirkstoff	Anwendung
blend-a-med Whitestrips	Strips, 6 % Wasserstoffperoxid	- an Frontzähnen oben und unten Strip anbringen, - zweimal täglich 30 Minuten für 14 Tage.
Colgate Simply White	Gel, 5,9 % Wasserstoffperoxid	- Frontzähne oben und unten einpinseln, - 20 -30 Sekunden trocknen lassen, - zweimal täglich für 14 Tage, Gel löst sich auf.
el-ce med Easy white	Gel, 7- 8 % Wasserstoffperoxid	- Frontzähne oben und unten einpinseln, - 20 -30 Sekunden trocknen lassen, - zweimal täglich für 14 Tage, Gel löst sich auf.
Perlweiss Bleaching Weiss	Gel, 10,5-11,5 % Carbamidperoxid	- Frontzähne oben und unten einpinseln, - 20 -30 Sekunden trocknen lassen, - zweimal täglich für 7 Tage, Gel löst sich auf.

Die Zwischenuntersuchung (U2) und Abschlussuntersuchung (U3) erfolgten im Abstand von jeweils einer Woche.

Die Nachuntersuchung (U4) fand vier Monate nach Beendigung der Bleichtherapie statt und diente der Feststellung von Farbstabilität bzw. Rezidiven.

<sup>1</sup> Elmex, medizinische Zahnpasta, GABA GmbH.

<sup>2</sup> Aronal öko-dent, GABA GmbH

## 4.4 Ermittlung der Zahnfarbe

### 4.4.1 Elektronische Farbbestimmung

Die Ermittlung der Zahnfarben wurde in einem separaten Raum vorgenommen, der keine natürliche Lichtquelle aufwies und nur durch künstliches Licht erhellt wurde. Dem liegt zu Grunde, dass die Qualität und Helligkeit des Umgebungslichtes einen großen Einfluss auf die individuelle Farbwahrnehmung des Untersuchers ausübt. In diesem Raum wurden dem Probanden die individuellen Schienen eingegliedert und die Farbbestimmung vorgenommen (Abb. 5).



**Abb. 5:** Messvorgang mit inserierter Justierhilfe

Hier kam das ShadeEye NCC, ein elektronisches dentales Farbmessgerät der Fa. SHOFU INC. (Kioto, Japan), zur Anwendung (Abb. 6).



**Abb. 6:** ShadeEyeNCC (Fa. Shofu)

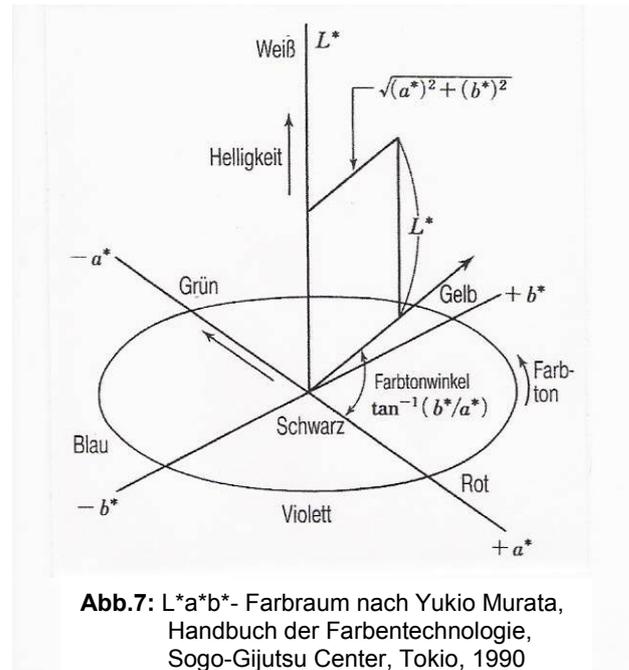
Vor jeder Messung erfolgte obligatorisch die Kalibrierung an einem integrierten Weiß-Standard. Das Gerät wurde danach mit der Kontaktspitze in die vorgesehene Bohrung der Schiene senkrecht direkt auf den Zahn aufgesetzt (Abb. 5).

Es handelte sich um ein Kontaktmessverfahren nach der Stimulus–Direktablesungsmethode, welches weitestgehend von den Umgebungsbedingungen unabhängig ist. Als Lichtquelle dient eine Xenon–Impuls-lampe. Nach dem manuellen Auslösen wird ein Lichtstrahl erzeugt, der durch ein Glasfaserkabel zur optischen Spitze des Messkopfes gelangt. Dieser nimmt das reflektierte Licht auf und leitet es über Glasfaserkabel der Silizium–Fotozelle zu, die einen Tristimulus–Analysefilter enthält, durch den die eigentliche Messung der drei Farbphasen erfolgt. Das resultierende Messsignal gelangt zu einem eingebauten Mikrocomputer, der die Berechnung vornimmt. Die Resultate sind auf einer LED – Anzeige ablesbar. Bei jeder Messung weist das Gerät jeweils den  $L^*$ -,  $a^*$ - und  $b^*$ - Wert aus. Dabei handelt es sich um Werte aus dem dreidimensionalen Farbraum (Abb. 7). Der  $L^*$  - Wert steht auf der Schwarz – Weiß – Achse für die Helligkeit. Je höher der  $L^*$  - Wert ist, umso „weißer“ ist das Objekt. Die  $a^*$  - Werte geben die Richtung

auf der Rot – Grün – Achse an. Dabei gibt ein positiver Wert die Rotrichtung, ein negativer die Grünrichtung an. Die  $b^*$  - Werte stehen für die Blau – Gelb – Achse. Ein positiver Wert bezeichnet die Gelbrichtung, ein negativer die Blaurichtung.

Um Messfehler zu minimieren, wurden an jedem Zahn je drei Messungen vorgenommen, von denen jeweils die Mittelwerte für die  $L^*$ -,  $a^*$ - und  $b^*$  - Werte ermittelt wurden. Zu diesem Zweck wurden die Datensätze jedes Probanden direkt im Anschluss an den Messzyklus in eine patientenbezogene

Excel-Datei übertragen, von wo aus die errechneten Mittelwerte in das Statistikprogramm SPSS übermittelt wurden.



#### 4.4.2 Individuelle Farbbestimmung

Neben der elektronischen Farbbestimmung erfolgte in jeder Sitzung - in Annäherung an die klinische Praxis - zusätzlich eine individuelle Farbbestimmung mittels Vita-Lumin-Farbring.

Vita	B1	A1	B2	D2	A2	C1	C2	D4	A3	D3	B3	A3,5	B4	C3	A4	C4
Rang	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16

**Abb. 8:** Vitafarben, von hell (1) nach dunkel (16) sortiert.



**Abb. 9:** Vita-Farbring

Bei dem Vita-Farbring<sup>1</sup> handelt es sich um ein weit verbreitetes System zur Farbbestimmung in der täglichen zahnärztlichen Praxis. Er besteht aus Musterzähnen in den 16 häufigsten Zahnfarben, die nach Helligkeit sortiert sind (Abb. 8 und 9).

<sup>1</sup> VITA-Zahnfabrik, Bad Säckingen, Deutschland

Die visuelle Farbbestimmung (Abb. 10) nach diesem Farbring fand direkt nach Ausgliederung der Messschiene im Anschluss an die elektronische Messung unter unveränderten Bedingungen statt und wurde stets von der Behandlerin selbst, unter Einsatz desselben Farbrings vorgenommen.



Abb. 10: Visuelle Farbbestimmung

Die Zahnfarben wurden handschriftlich in vorbereitete Formulare übertragen und von da aus in eine SPSS-Datei eingegeben.

Zum Abschluss der Untersuchungen U1-U4 wurden die Frontzähne der Probanden digital fotografiert (Fine Pix S2 Pro; Fuji, Tokyo, Japan).

Da die Studie untersucherblind durchgeführt wurde, wurden auch die Probanden, die das Produkt *Perlweiss Bleaching Weiss* nach Herstellerempfehlung nur für eine Woche anzuwenden hatten, wie alle anderen Probanden zur U1 (Eingangsuntersuchung), U2 (Zwischenuntersuchung), U3 (Abschlussuntersuchung) und U4 (Nachuntersuchung) untersucht.

Bei der vergleichenden Auswertung wurden jedoch die Werte aus der U3 für diese Gruppe vernachlässigt.

Der Vollständigkeit halber wurde allerdings bei der Betrachtung der einzelnen Produkte bei den Produkten *blend-a-med Whitestrips*, *Colgate Simply White* und *el-ce med Easy White* auch die Veränderung der Farbparameter nach der zweiten Woche ausgewertet.

#### **4.5 Ermittlung der Patientenakzeptanz**

Zur Ermittlung der Patientenakzeptanz erfolgte nach jedem Behandlungszyklus eine Befragung der Probanden zu Hypersensibilitäten und Nebenwirkungen sowie zu allgemeinen Aspekten zum Thema Bleichtherapie. Darüber hinaus erhielten die Teilnehmer Fragebögen, in denen sie sich zu dem von ihnen verwendeten Bleichprodukt äußern konnten. Die Angaben wurden ebenfalls in der SPSS-Datei erfasst.

Am Ende der Studie hatten 100 Probanden die drei Messzyklen absolviert, von denen jeweils 25 Probanden je eines der vier bereitgestellten Produkte angewendet hatten. Zur Nachuntersuchung nach vier Monaten erschienen 95 Teilnehmer zur Nachuntersuchung. Aus den Probandengruppen, die *blend-a-med Whitestrips*, *Colgate Simply White* und *Perlweiss Bleaching Weiss* angewendet hatten, erschien je ein Proband nicht zur Nachuntersuchung. Aus der Produktgruppe *el-ce med Easy White* nahmen zwei Teilnehmer nicht an der abschließenden Untersuchung teil.

Eine zusammenfassende Darstellung der Methodik zeigt Abbildung 11.

#### **4.6 Statistische Auswertung**

Alle ermittelten Daten wurden im Statistikprogramm erfasst. Die statistische Auswertung erfolgte mit Hilfe des Computerprogramms SPSS für Windows 12.0.

Die Auswertung der sekundären Zielgrößen erfolgte ausschließlich deskriptiv.

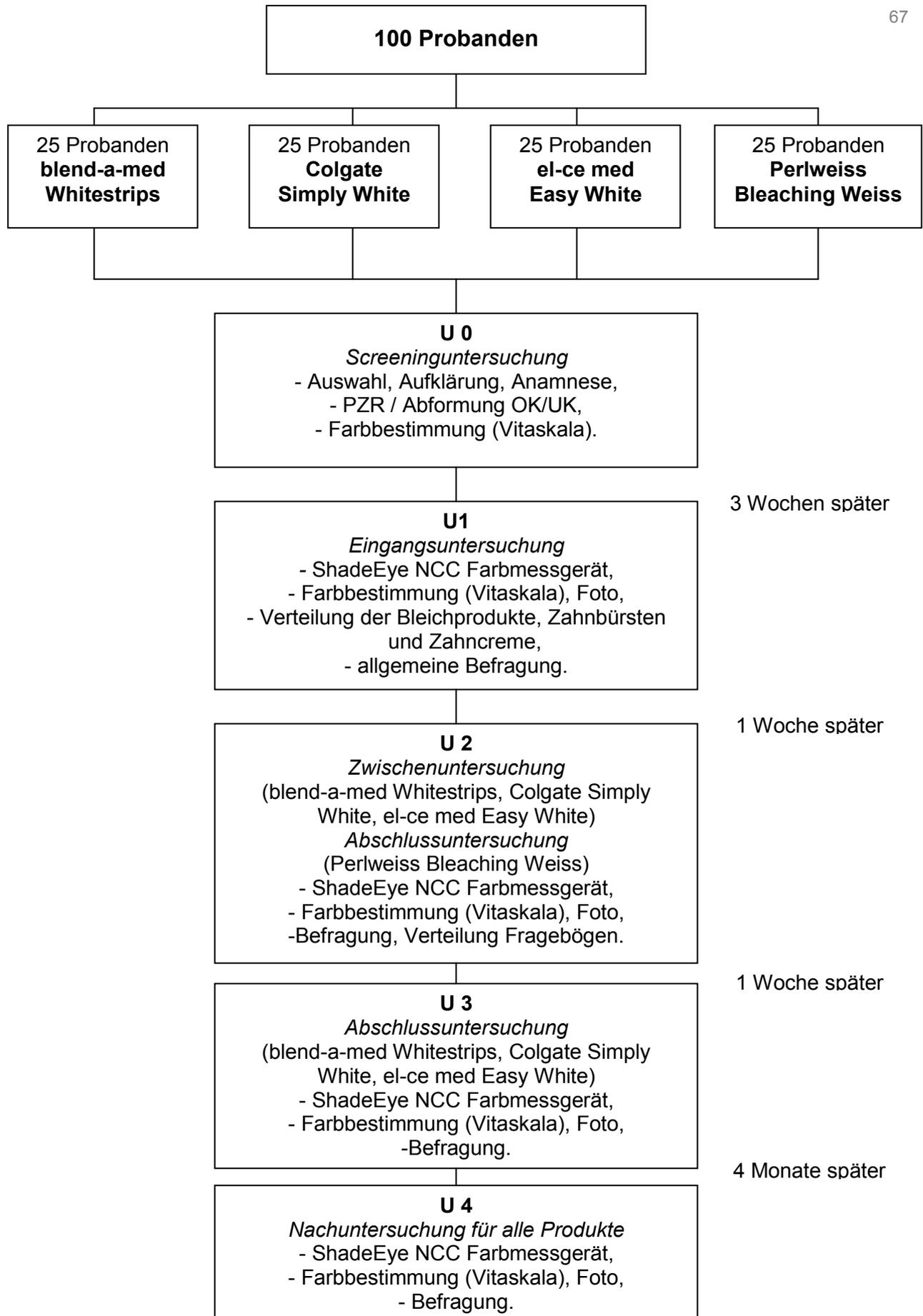
Bestimmt wurden Quartile, Minimum, Maximum, Median, Mittelwert und Standardabweichung.

Zusätzlich wurden zwischen den Gruppen die Veränderungen der  $L^*a^*b^*$  - Werte mit dem Kruskal-Wallis-Test und Mann-Whitney-U-Test verglichen. Das Signifikanzniveau wurde mit  $p < 0,01$  festgelegt. Um die gesamte Irrtumswahrscheinlichkeit von 5% aufrecht zu halten, wurden die P-Werte für einzelne Tests entsprechend adjustiert.

Die Auswertung der Fragebögen erfolgte ebenfalls ausschließlich deskriptiv.

Für quantitative Merkmale wurden Minimum, Maximum, Median, Mittelwert und Standardabweichung errechnet.

Für qualitative Merkmale wurden absolute und relative Häufigkeiten bestimmt.



**Abb. 11:** Übersicht über die Methodik

## 5. Ergebnisse

### 5.1. Elektronische Zahnfarbbestimmung

Der Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest ergab eine Normalverteilung der Daten, daher wurden für deren Auswertung Mittelwerte und Standardabweichungen verwendet.

#### 5.1.1 Veränderungen der Zahnfarbwerte $L^*$ (Helligkeit)

##### 5.1.1.1 Veränderungen der Zahnfarbwerte $L^*$ bei der Behandlung mit den verschiedenen Produkten

Die folgende Grafik (Abb. 12) zeigt die mittleren Farbwerte  $L^*$  der Zähne der vier Probandengruppen zu den verschiedenen Untersuchungszeitpunkten. Gemessen wurde zur Eingangsuntersuchung (U1), zur Zwischenuntersuchung nach einer Woche (U2), zur Abschlussuntersuchung nach zwei Wochen (U3) und zur Nachuntersuchung (U4) nach vier Monaten.

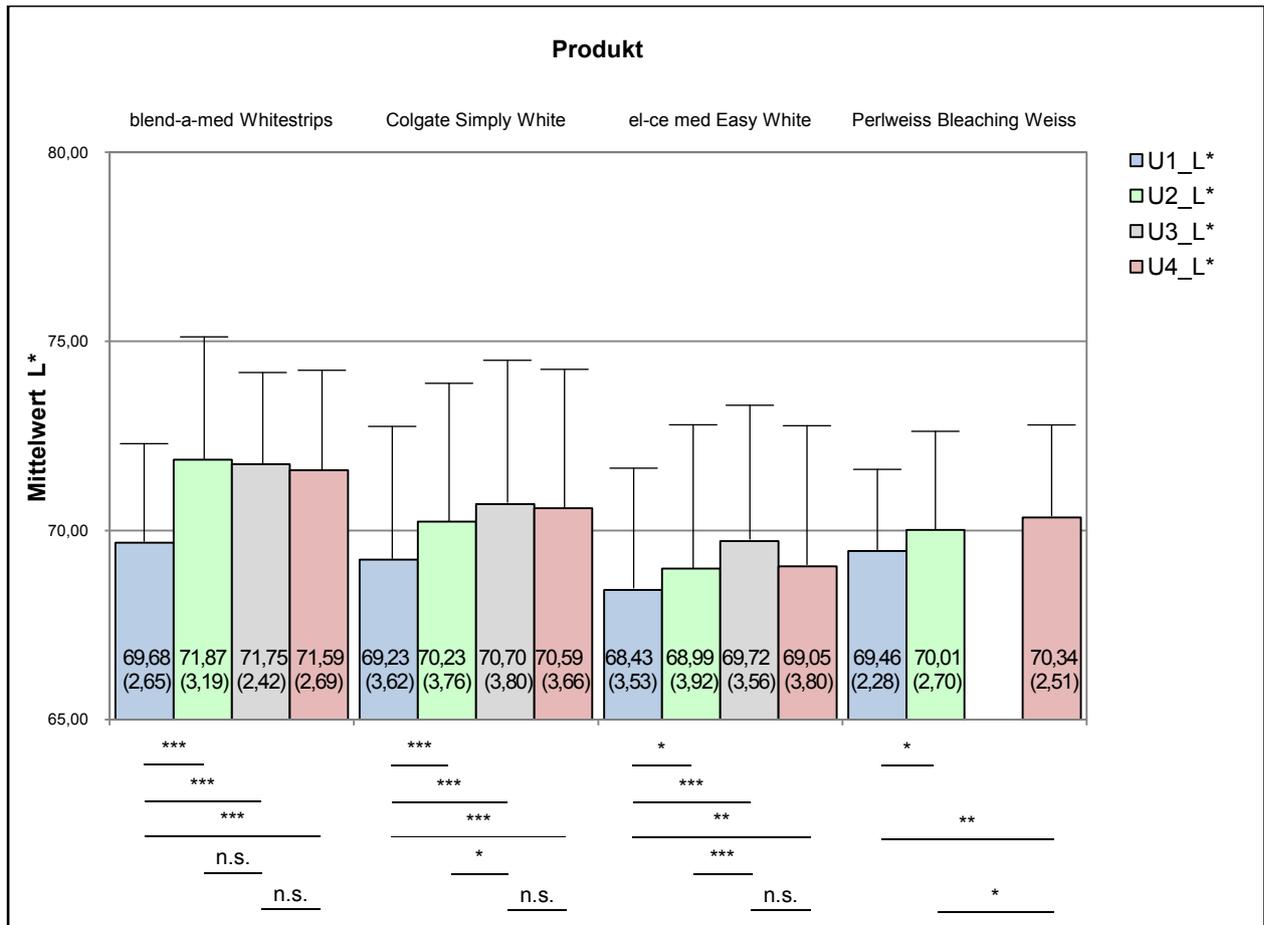
Für die *Perlweiss Bleaching Weiss* – Gruppe war die U2 die Abschlussuntersuchung, da das Produkt nur für eine Woche zur Anwendung kam. Die Werte der U3 kamen für diese Gruppe nicht zur Auswertung.

Erwartet wurde einer Zunahme des  $L^*$ -Wertes, da ein Objekt umso heller erscheint, je größer dieser Wert ist.

Unter der Behandlung mit *blend-a-med Whitestrips* und *Colgate Simply White* zeigte sich eine signifikante Zunahme des  $L^*$ -Mittelwertes nach einer einwöchigen Behandlung ( $p < 0,001$ ; Wilcoxon-Test). Auch die Behandlung mit *el-ce med Easy White* und *Perlweiss Bleaching Weiss* ( $p < 0,05$ ; Wilcoxon-Test) führte zu einer signifikanten Zunahme des  $L^*$ -Wertes nach einer Woche im Vergleich zur Eingangsuntersuchung.

Nach der zweiten Behandlungswoche war eine weitere signifikante Zunahme des mittleren  $L^*$ -Wertes bei den Produkten *Colgate Simply White* ( $p < 0,05$ ; Wilcoxon-Test) und *el-ce med Easy White* ( $p < 0,001$ ; Wilcoxon-Test) im Vergleich zur Zwischenuntersuchung feststellbar.

Bei den Zähnen der Probanden der *blend-a-med Whitestrips* – Gruppe hingegen zeigte sich in der zweiten Woche keine signifikante Veränderung des  $L^*$ -Wertes mehr.



U1 Eingangsuntersuchung, U2 Zwischenuntersuchung (Abschluss für Perlweiss), U3 Abschlussuntersuchung und U4 Nachuntersuchung.

**Abb. 12:** L\* -Mittelwerte für die Untersuchungen U1,U2,U3 und U4 bei der Behandlung mit den verschiedenen Produkten. Mittelwerte (Standardabweichung).  
Statistische Signifikanz: \* $p < 0,05$ , \*\*  $p < 0,01$ , \*\*\*  $p < 0,001$  (Wilcoxon-Test); n.s.: nicht signifikant.

Zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung nach vier Monaten wurde bei allen Produkten im Mittel noch ein statistisch signifikant höherer L\*-Wert im Vergleich zur Eingangsuntersuchung festgestellt (*blend-a-med Whitestrips* und *Colgate Simply White*  $p < 0,001$ ; *el-ce med Easy White* und *Perlweiss Bleaching Weiss*  $p < 0,01$ ; Wilcoxon-Test).

Es war bei den Produkten *blend-a-med Whitestrips*, *Colgate Simply White* und *el-ce med Easy White* kein signifikanter Rückgang der L\*-Wertes und somit kein Rezidiv im Vergleich zur Abschlussuntersuchung feststellbar.

Bei dem Produkt *Perlweiss Bleaching Weiss* wurde im Mittel ein gering signifikant höherer L\*-Wert ( $p < 0,05$ ; Wilcoxon-Test) als zum Zeitpunkt der Abschlussuntersuchung dieses Produktes (U2) festgestellt.

### 5.1.1.2 Vergleich der Veränderung der Zahnfarbwerte $L^*$ bei der Behandlung mit den verschiedenen Bleichprodukten

Die nachfolgende Grafik (Abb. 13) stellt die Veränderungen der mittleren  $L^*$ -Werte durch die Bleichtherapie mit den Produkten *blend-a-med Whitestrips*, *Colgate Simply White*, *el-ce med Easy White* und *Perlweiss Bleaching Weiss* gegenüber.

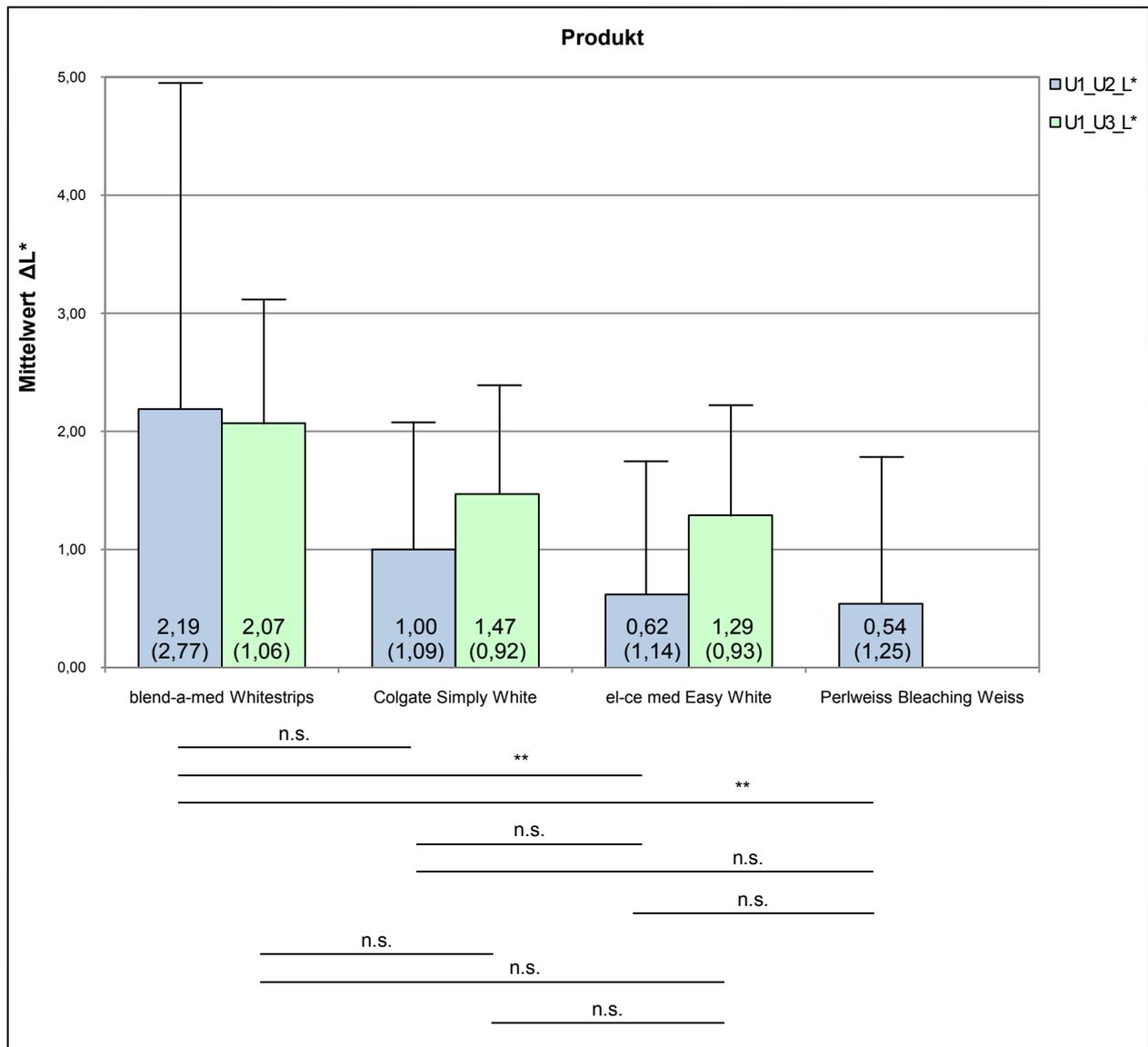
Untersucht wurde, ob sich die Veränderungen der mittleren Farbwerte  $L^*$  nach einer Woche Anwendung (U1-U2) der einzelnen Produkte signifikant unterschieden. Außerdem wurde betrachtet, ob die Veränderungen über den gesamten Behandlungszeitraum (U1-U3) zwischen den Produkten *blend-a-med Whitestrips*, *Colgate Simply White* und *el-ce med Easy White* voneinander signifikant unterschiedlich waren (Mann-Whitney-Test).

Da das Produkt *Perlweiss Bleaching Weiss* nur für eine Woche zur Anwendung kam, wurde das Intervall U1-U3 für dieses Produkt nicht bewertet.

Es zeigte sich, dass die mittlere Farbwertveränderung  $\Delta L^*$  nach der ersten Woche (U1-U2) der Therapie mit *blend-a-med Whitestrips* gegenüber *el-ce med Easy White* und *Perlweiss Bleaching Weiss* ( $p < 0,01$ ; Mann-Whitney-Test), jedoch nicht gegenüber *Colgate Simply White* signifikant größer war.

Zwischen den Produkten *Colgate Simply White*, *el-ce med Easy White* und *Perlweiss Bleaching Weiss* wurden keine signifikanten Unterschiede (Mann-Whitney-Test) bei der Veränderung der  $L^*$ -Werte von der U1 bis zur U2 festgestellt.

Im Vergleich der Produkte *blend-a-med Whitestrips*, *Colgate Simply White* und *el-ce med Easy White* über die gesamte zweiwöchige Behandlung (U1-U3) waren die Unterschiede bei der Zunahme des Farbwertes  $L^*$  über diesen Zeitraum nicht signifikant (Mann-Whitney-Test).



U1\_U2 Eingangs- bis Zwischenuntersuchung (bzw. Abschluss für Perlweiss), U1\_U3 Eingangs- bis Abschlussuntersuchung.

**Abb. 13:**  $\Delta L^*$ -Mittelwerte für die Untersuchungszeiträume U1-U2 und U1-U3 bei der Behandlung mit den verschiedenen Produkten. Mittelwerte (Standardabweichung).  
 Statistische Signifikanz: \*\* p<0,01 (Mann-Whitney-Test); n.s.: nicht signifikant.

### 5.1.1.3 Vergleich der Produktgruppen bei der Veränderung der Zahnfarbwerte $L^*$ über den Gesamtzeitraum und nach der Behandlung

In der folgenden Tabelle (Tab.5) werden die Veränderungen der mittleren Zahnfarbwerte  $L^*$  über den gesamten Untersuchungszeitraum und nach Abschluss der Behandlung bei den einzelnen Produktgruppen dargestellt.

**Tabelle 5:**  $\Delta L^*$  - Mittelwerte und Standardabweichungen (in Klammern) für den Gesamtzeitraum und vier Monate nach Ende der Behandlung für die verschiedenen Produkte.

Produkt	$\Delta L^*$ -Mittelwerte (Standardabweichung)		
	$\Delta L^*$ U1 - U4	$\Delta L^*$ U2 - U4	$\Delta L^*$ U3 - U4
<i>blend-a-med Whitestrips</i>	1,92 <sup>a,b</sup> (0,96)		-0,09 (0,97)
<i>Colgate Simply White</i>	1,44 (0,94)		-0,03 (0,74)
<i>el-ce med Easy White</i>	0,73 <sup>a</sup> (1,04)		-0,53 (1,20)
<i>Perlweiss Bleaching Weiss</i>	0,94 <sup>b</sup> (1,37)	0,41 (0,93)	

U1 Eingangsuntersuchung, U2 Zwischenuntersuchung (Abschluss für Perlweiss), U3 Abschlussuntersuchung, U4 Nachuntersuchung. Gleiche Buchstaben in einer Spalte zeigen statistisch signifikante Unterschiede.

Über den Zeitraum von der Eingangsuntersuchung bis zur Nachuntersuchung nach vier Monaten war  $\Delta L^*$  für das Produkt *blend-a-med Whitestrips* den Produkten *el-ce med Easy White* ( $p < 0,001$ ; Mann-Whitney-Test) und *Perlweiss Bleaching Weiss* ( $p < 0,01$ ; Mann-Whitney-Test) gegenüber signifikant größer. Zu *Colgate Simply White* war der Unterschied nicht signifikant (Mann-Whitney-Test).

Zwischen den Produkten *Colgate Simply White*, *el-ce med Easy White* und *Perlweiss Bleaching Weiss* wurden keine signifikanten Unterschiede bezüglich der Größe der mittleren Veränderung von  $L^*$  über den genannten Zeitraum festgestellt.

Zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung (U4) nach vier Monaten zeigte sich bei der *Perlweiss Bleaching Weiss* – Gruppe im Mittel eine geringfügige, aber signifikante Zunahme ( $p < 0,05$ ; Wilcoxon-Test) des mittleren  $L^*$ -Wertes im Vergleich zur Abschlussuntersuchung (U2).

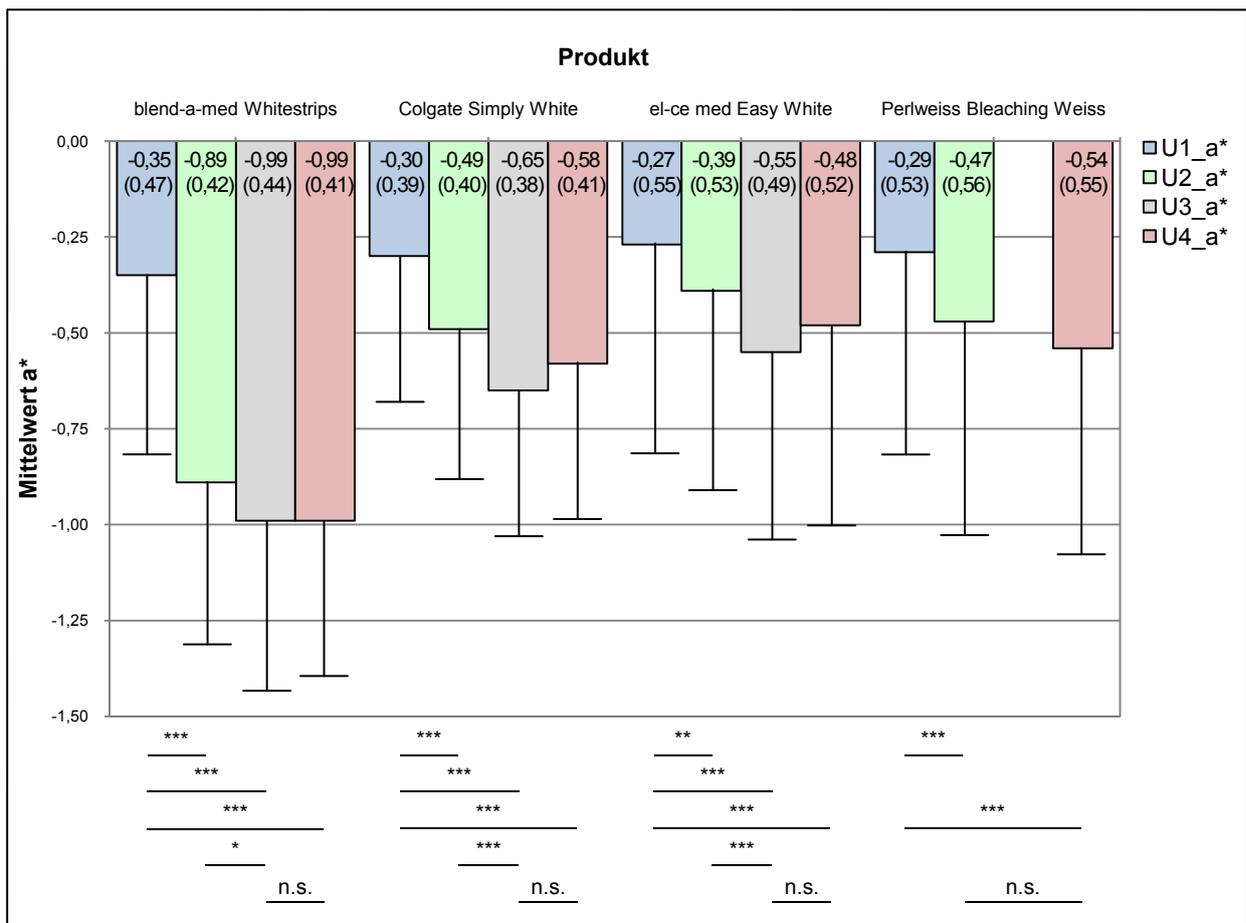
Die Abnahme der mittleren  $L^*$ -Werte bei den Produkten *blend-a-med Whitestrips*, *Colgate Simply White* und *el-ce med Easy White* war nicht signifikant (Wilcoxon-Test) im Vergleich zur Abschlussuntersuchung (U3) und unterschied sich auch zwischen den Produktgruppen nicht signifikant voneinander (Mann-Whitney-Test).

### 5.1.2 Veränderungen der Zahnfarbwerte a\* (Rot-Grün-Richtung)

#### 5.1.2.1 Veränderungen der Zahnfarbwerte a\* bei der Behandlung mit den verschiedenen Produkten

In der folgenden Abbildung (Abb. 14) sind die mittleren Farbwerte a\* zu den verschiedenen Untersuchungszeiträumen U1 (Eingangsuntersuchung), U2 (Zwischenuntersuchung nach einer Woche), U3 (Abschlussuntersuchung nach zwei Wochen) und U4 (Nachuntersuchung nach vier Monaten) vor, während und nach der Anwendung der verschiedenen Produkte dargestellt.

Für die Probanden der *Perlweiss Bleaching Weiss* – Gruppe war die U2 die Abschlussuntersuchung, da das Produkt nur für eine Woche zur Anwendung kam. Da ein hoher a\*-Wert für einen hohen Rotanteil steht, wurde eine Abnahme des a\*-Wertes erwartet.



U1 Eingangsuntersuchung, U2 Zwischenuntersuchung (Abschluss für Perlweiss), U3 Abschluss- und U4 Nachuntersuchung.

**Abb. 14:** a\*-Mittelwerte für die Untersuchungen U1,U2,U3 und U4 bei der Behandlung mit den verschiedenen Produkten. Mittelwerte (Standardabweichung).

Statistische Signifikanz: \*p<0,05, \*\* p<0,01, \*\*\* p< 0,001 (Wilcoxon-Test); n.s.: nicht signifikant.

Während der Behandlung mit *blend-a-med Whitestrips*, *Colgate Simply White* und *Perlweiss Bleaching Weiss* ( $p < 0,001$ ; Wilcoxon-Test) sowie *el-ce med Easy White* ( $p < 0,01$ ; Wilcoxon-Test) reduzierte sich der  $a^*$ -Wert nach einer Woche signifikant im Vergleich zu den Werten der Eingangsuntersuchung.

Bei den Produkten, die für zwei Wochen zur Anwendung kamen, hatte sich der  $a^*$ -Wert im Mittel in der zweiten Woche im Vergleich zur Zwischenuntersuchung weiter signifikant verringert (*blend-a-med Whitestrips*  $p < 0,05$ ; *Colgate Simply White* und *el-ce med Easy White*  $p < 0,001$ , Wilcoxon-Test).

Für die drei Produkte war zum Ende der Behandlung insgesamt im Mittel eine signifikante Reduktion des  $a^*$ -Wertes ( $p < 0,001$ ; Wilcoxon-Test) im Vergleich zur Ausgangsuntersuchung nachweisbar.

Da *Perlweiss Bleaching Weiss* nur für eine Woche angewendet wurde, wurden die Werte der U3 für dieses Produkt nicht betrachtet.

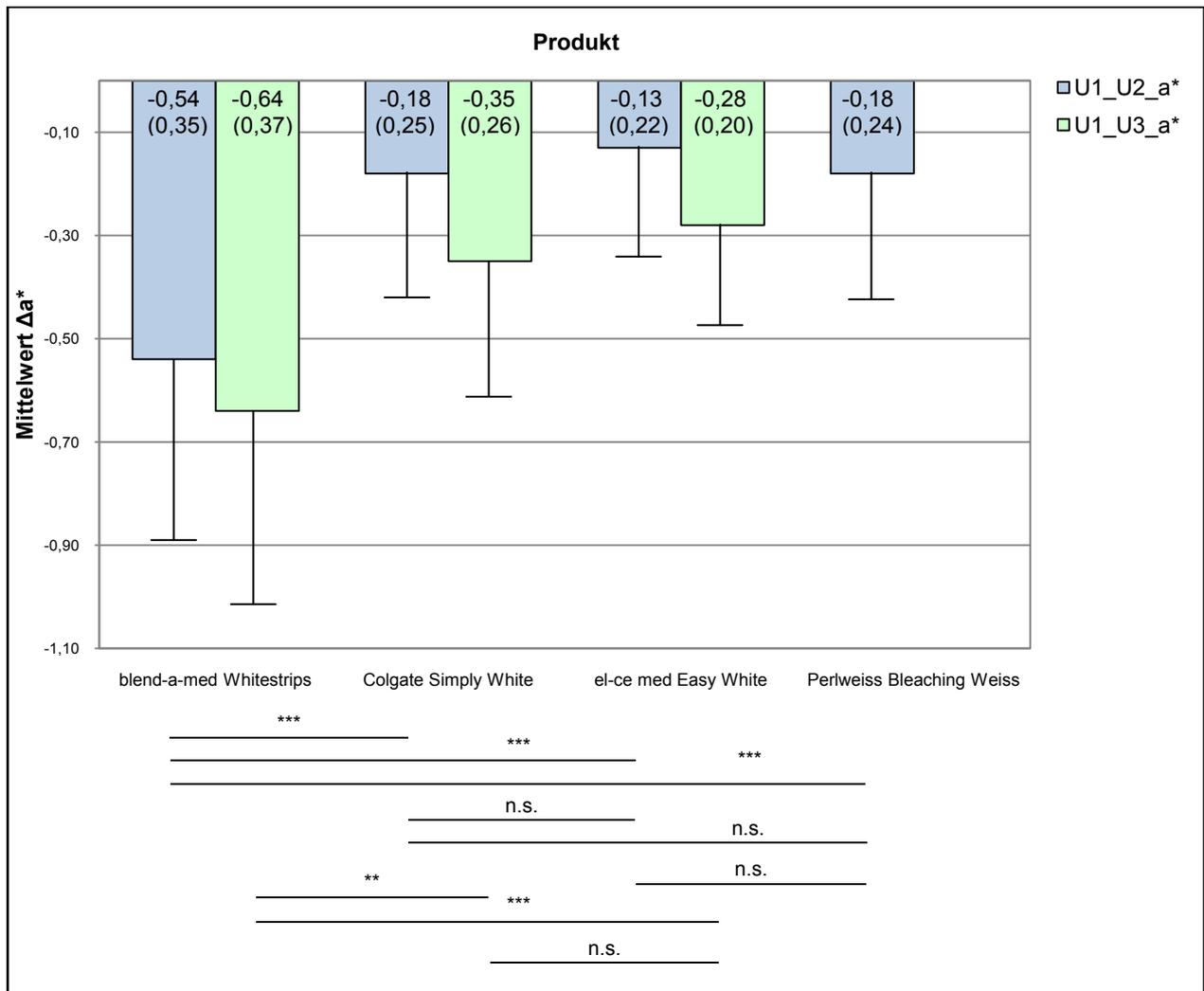
Zur Nachuntersuchung nach vier Monaten war im Mittel der  $a^*$ -Wert bei den Probanden aller vier Produkte noch signifikant geringer als zur Eingangsuntersuchung ( $p < 0,001$ ; Wilcoxon-Test).

Bei keinem der Produkte war zu diesem Zeitpunkt im Mittel ein Rezidiv für die  $a^*$ -Werte im Vergleich zur Abschlussuntersuchung feststellbar (Wilcoxon-Test).

### 5.1.2.2 Vergleich der Veränderung der Zahnfarbwerte $a^*$ bei der Behandlung mit den verschiedenen Bleichprodukten

In der folgenden Grafik (Abb. 15) werden die Veränderungen der mittleren  $\Delta a^*$ -Werte durch die Bleichtherapie mit den Produkten *blend-a-med Whitestrips*, *Colgate Simply White*, *el-ce med Easy White* und *Perlweiss Bleaching Weiss* gegenübergestellt.

Untersucht wurde, ob sich die Veränderungen der mittleren Farbwerte  $a^*$  nach einer Woche Anwendung (U1-U2) der einzelnen Produkte signifikant unterschieden und ob die Veränderungen über den gesamten Behandlungszeitraum (U1-U3) zwischen den Produkten *blend-a-med Whitestrips*, *Colgate Simply White* und *el-ce med Easy White* im Mittel voneinander signifikant unterschiedlich waren (Mann-Whitney-Test).



U1\_U2 Eingangs- bis Zwischenuntersuchung (bzw. Abschluss für Perlweiss), U1\_U3 Eingangs- bis Abschlussuntersuchung.

**Abb. 15:**  $\Delta a^*$  für die Untersuchungszeiträume U1-U2 und U1-U3 bei der Behandlung mit den verschiedenen Produkten. Mittelwerte (Standardabweichung).  
Statistische Signifikanz: \*\*  $p < 0,01$ , \*\*\*  $p < 0,001$  (Wilcoxon-Test); n.s.: nicht signifikant.

Im Vergleich zeigte sich, dass die Farbwertveränderung  $\Delta a^*$  bei dem Produkt *blend-a-med Whitestrips* nach der ersten Woche (U1-U2) ( $p < 0,001$ ; Mann-Whitney-Test) der Therapie mit *Colgate Simply White*, *el-ce med Easy White* und *Perlweiss Bleaching Weiss* deutlich überlegen war.

Zwischen den Produkten *Colgate Simply White*, *el-ce med Easy White* und *Perlweiss Bleaching Weiss* wurden keine signifikanten Unterschiede (Mann-Whitney-Test) bei der Veränderung der  $a^*$ -Werte von der Eingangsuntersuchung U1 bis zur Zwischenuntersuchung U2 (Abschlussuntersuchung für *Perlweiss Bleaching Weiss*) festgestellt.

Auch über den Gesamtzeitraum (U1-U3) war *blend-a-med Whitestrips* im Mittel sowohl dem Produkt *Colgate Simply White* ( $p < 0,01$ ; Mann-Whitney-Test) als auch *el-ce med Easy White* ( $p < 0,001$ ; Mann-Whitney-Test) bei der Reduktion des  $a^*$ -Wertes überlegen.

Zwischen den Produkten *Colgate Simply White* und *el-ce med Easy White* waren die Unterschiede bei der Abnahme des Farbwertes  $a^*$  über den gesamten zweiwöchigen Behandlungszeitraum nicht signifikant.

*Perlweiss Bleaching Weiss* wurde nur für eine Woche angewendet, daher kamen für dieses Produkt keine Werte der U3 zur Auswertung.

### 5.1.2.3 Vergleich der Produktgruppen bei der Veränderung der Zahnfarbwerte $a^*$ über den Gesamtzeitraum und nach der Behandlung

Die nachfolgende Tabelle (Tab.6) zeigt die Veränderung der Zahnfarbwerte  $a^*$  über den gesamten Untersuchungszeitraum und nach Abschluss der Behandlung bei den einzelnen Produktgruppen.

Da das Produkt *Perlweiss Bleaching Weiss* nur für eine Woche zur Anwendung kam, wurde zur Feststellung eines Rezidivs der Zeitraum von der U2 bis zur Nachuntersuchung U4 betrachtet.

**Tabelle 6:**  $\Delta a^*$  - Mittelwerte und Standardabweichungen (in Klammern) für den Gesamtzeitraum und vier Monate nach Ende der Behandlung für die verschiedenen Produkte.

Produkt	$\Delta a^*$ -Mittelwerte (Standardabweichung)		
	$\Delta a^*$ U1 - U4	$\Delta a^*$ U2 – U4	$\Delta a^*$ U3 – U4
<i>blend-a-med Whitestrips</i>	-0,63 <sup>a,b,c</sup> (0,33)		-0,02 (0,19)
<i>Colgate Simply White</i>	-0,28 <sup>a</sup> (0,27)		0,06 (0,18)
<i>el-ce med Easy White</i>	-0,25 <sup>b</sup> (0,20)		0,04 (0,14)
<i>Perlweiss Bleaching Weiss</i>	-0,24 <sup>c</sup> (0,21)	-0,06 (0,17)	

U1 Eingangsuntersuchung, U2 Zwischenuntersuchung (Abschluss für Perlweiss), U3 Abschlussuntersuchung, U4 Nachuntersuchung.  
Gleiche Buchstaben in einer Spalte zeigen statistisch signifikante Unterschiede.

Im Vergleich der Produkte zeigte sich, dass *blend-a-med Whitestrips* zu einer signifikant größeren Reduktion des  $a^*$ -Wertes führte als die Bleichmittel *Colgate Simply White*, *el-ce med Easy White* und *Perlweiss Bleaching Weiss* ( $p < 0,001$ ; Mann-Whitney-Test). Zwischen den drei letztgenannten Produkten wurden keine signifikanten Unterschiede beobachtet.

Vier Monate nach Abschluss der Bleichtherapie wurde bei allen vier Produkten ein stabiler Farbwert  $a^*$  gefunden. Ein Rezidiv wurde somit nicht beobachtet.

Die Veränderungen waren für das Produkt *Perlweiss Bleaching Weiss* für das Untersuchungsintervall U2-U4 (Abschlussuntersuchung für *Perlweiss Bleaching Weiss* bis Nachuntersuchung) nicht signifikant (Wilcoxon-Test).

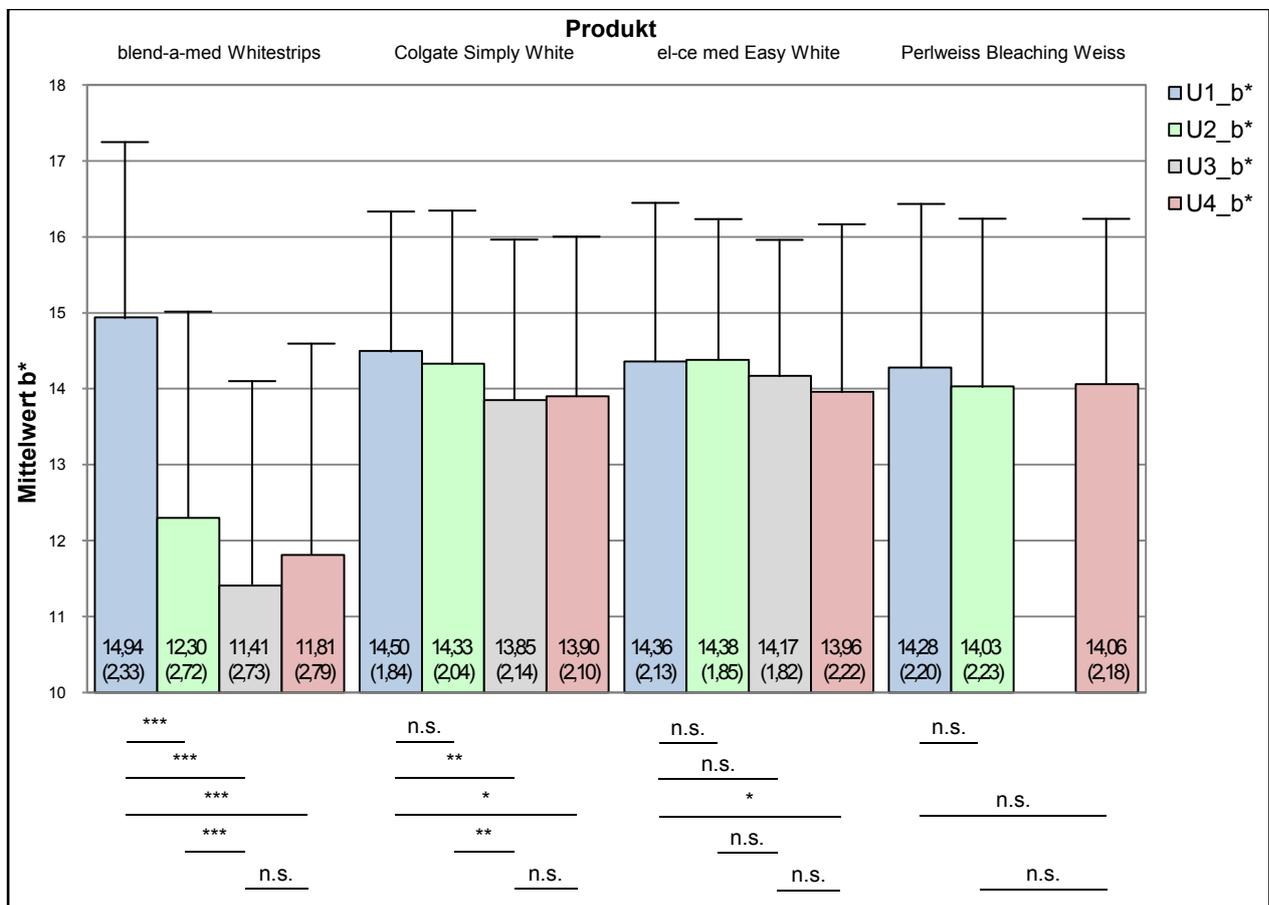
Zwischen den drei Produktgruppen *blend-a-med Whitestrips*, *Colgate Simply White* und *el-ce med Easy White* wurden keine signifikanten Unterschiede bei den Mittelwerten der Farbwerte  $\Delta a^*$  von der Abschlussuntersuchung bis zur Nachuntersuchung (U3-U4) festgestellt (Mann-Whitney-Test).

### 5.1.3 Veränderungen der Zahnfarbwerte $b^*$ (Blau-Gelb-Richtung)

#### 5.1.3.1 Veränderungen der Zahnfarbwerte $b^*$ bei der Behandlung mit den verschiedenen Produkten

Die folgende Grafik (Abb. 16) zeigt die mittleren Farbwerte  $b^*$  der Zähne der vier Probandengruppen zu den verschiedenen Untersuchungszeitpunkten.

Ein großer  $b^*$ -Wert steht für einen hohen Gelbanteil der Zahnfarbe, daher wurde eine Abnahme des  $b^*$ -Wertes im Verlauf einer Bleichtherapie erwartet.



U1 Eingangsuntersuchung, U2 Zwischenuntersuchung (Abschluss für Perlweiss), U3 Abschlussuntersuchung, U4 Nachuntersuchung.

**Abb. 16:**  $b^*$ -Mittelwerte für die Untersuchungen U1,U2,U3 und U4 bei der Behandlung mit den verschiedenen Produkten. Mittelwerte (Standardabweichung).

Statistische Signifikanz: \*p<0,05, \*\* p<0,01, \*\*\* p< 0,001 (Wilcoxon-Test); n.s.: nicht signifikant.

Eine signifikante Abnahme des mittleren  $b^*$ -Wertes nach einer Woche wurde nur bei der Behandlung mit *blend-a-med Whitestrips* festgestellt (p<0,001, Wilcoxon-Test).

Bei den Produkten *Colgate Simply White* und *el-ce med Easy White* war im Mittel nach einer Woche keine signifikante Reduktion des  $b^*$ -Wertes feststellbar.

In der zweiten Woche reduzierte sich der mittlere  $b^*$ -Wert bei den Produkten *blend-a-med Whitestrips* ( $p < 0,001$ , Wilcoxon-Test) und *Colgate Simply White* ( $p < 0,01$ , Wilcoxon-Test) signifikant im Vergleich zur Zwischenuntersuchung.

Bei den Probanden der *el-ce med Easy White* – Gruppe war auch in der zweiten Behandlungswoche keine signifikante Veränderung des  $b^*$ -Wertes feststellbar.

Im Vergleich zur Eingangsuntersuchung war der Mittelwert des  $b^*$ -Wertes zur Nachuntersuchung nach vier Monaten bei den Produktgruppen, die *blend-a-med Whitestrips* ( $p < 0,001$ , Wilcoxon-Test) und *Colgate Simply White* ( $p < 0,05$ , Wilcoxon-Test) verwendet hatten, noch hoch signifikant geringer.

Auch nach Anwendung des Produktes *el-ce med Easy White* zeigte sich zur Nachuntersuchung der mittlere  $b^*$ -Wert im Vergleich zur Ausgangssituation insgesamt signifikant geringer ( $p < 0,05$ , Wilcoxon-Test), obwohl sich der Wert im Mittel während der einzelnen Intervalle nicht verändert hatte.

Eine signifikante Veränderung des  $b^*$ -Wertes in den vier Monaten nach Ende der Bleichtherapie war in keiner Probandengruppe feststellbar (Wilcoxon-Test).

Die Anwendung des Bleichmittels *Perlweiss Bleaching Weiss* beeinflusste im Mittel zu keinem Zeitpunkt der Untersuchung den  $b^*$ -Wert signifikant (Wilcoxon-Test).

### 5.1.3.2 Vergleich der Veränderung der Zahnfarbwerte $b^*$ bei der Behandlung mit den verschiedenen Bleichprodukten

Die nachfolgende Grafik (Abb. 17) stellt die Veränderungen der mittleren  $b^*$ -Werte durch die Bleichtherapien mit den Produkten *blend-a-med Whitestrips*, *Colgate Simply White*, *el-ce med Easy White* und *Perlweiss Bleaching Weiss* gegenüber.

Untersucht wurde, ob sich die Veränderungen der mittleren Farbwerte  $\Delta b^*$  nach einer Woche Anwendung (U1-U2) der einzelnen Produkte signifikant unterschieden.

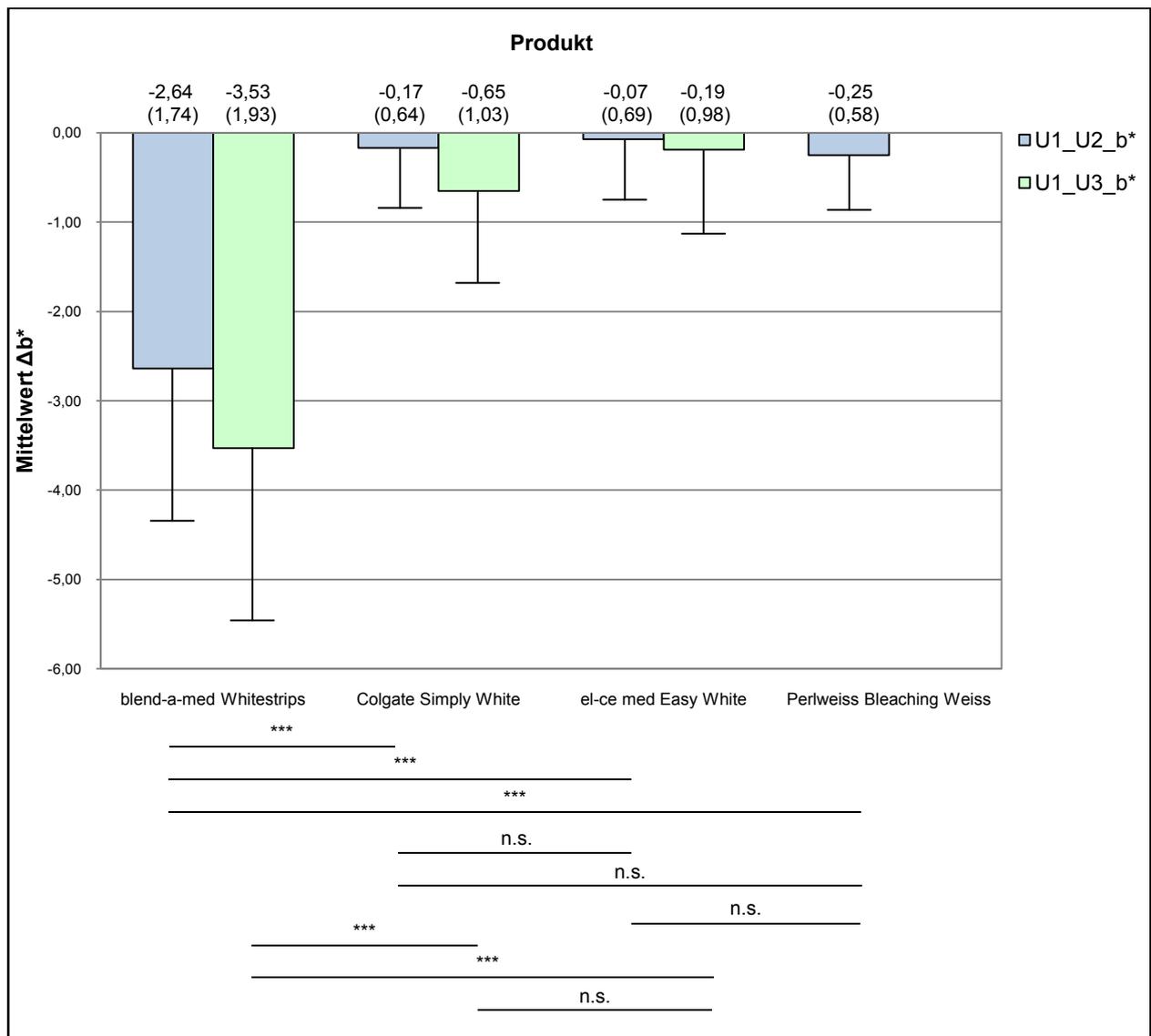
Außerdem wurde beobachtet, ob die Veränderungen über die gesamte Behandlungszeit von vierzehn Tagen (U1-U3) zwischen den Produkten *blend-a-med Whitestrips*, *Colgate Simply White* und *el-ce med Easy White* voneinander signifikant unterschiedlich waren (Mann-Whitney-Test).

Der Vergleich der Veränderung des  $\Delta b^*$ -Wertes nach einer Woche Therapie mit den verschiedenen Bleichprodukten zeigte, dass sich der  $b^*$ -Wert bei einer Behandlung mit *blend-a-med Whitestrips* signifikant mehr reduzierte als bei den Produkten *Colgate Simply White*, *el-ce med Easy White* und *Perlweiss Bleaching Weiss* ( $p < 0,001$ ; Mann-Whitney-Test).

Auch über den Zeitraum von zwei Wochen (U1-U3) war der Differenzbetrag zur Eingangsuntersuchung signifikant größer bei *blend-a-med Whitestrips* als bei den Produkten *Colgate Simply White* und *el-ce med Easy White* ( $p < 0,001$ ; Mann-Whitney-Test).

Zwischen den Produkten *Colgate Simply White*, *el-ce med Easy White* und *Perlweiss Bleaching Weiss* hingegen wurde in dem Untersuchungsintervall U1-U2 im Mittel kein signifikanter Unterschied bei der Entwicklung des  $b^*$ -Wertes festgestellt (Mann-Whitney-Test).

Auch von der Eingangsuntersuchung bis zur Abschlussuntersuchung (U1-U3) war  $\Delta b^*$  zwischen den Produkten *Colgate Simply White* und *el-ce med Easy White* nicht signifikant unterschiedlich (Mann-Whitney-Test).



U1\_U2 Eingangs- bis Zwischenuntersuchung (bzw. Abschluss für Perlweiss), U1\_U3 Eingangs- bis Abschlussuntersuchung.

**Abb. 17:**  $\Delta b^*$  für die Untersuchungszeiträume U1-U2 und U1-U3 bei der Behandlung mit den verschiedenen Produkten. Mittelwerte (Standardabweichung). Statistische Signifikanz: \*\*\*  $p < 0,001$  (Wilcoxon-Test); n.s.: nicht signifikant.

### 5.1.3.3 Vergleich der Produktgruppen bei der Veränderung der Zahnfarbwerte $b^*$ über den Gesamtzeitraum und nach der Behandlung

Die folgende Tabelle (Tab.7) zeigt die mittleren Veränderungen der Zahnfarbwerte  $b^*$  über den gesamten Untersuchungszeitraum und nach Abschluss der Behandlung bei den einzelnen Produktgruppen.

**Tabelle 7:**  $\Delta b^*$  - Mittelwerte und Standardabweichungen (in Klammern) für den Gesamtzeitraum und vier Monate nach Ende der Behandlung für die verschiedenen Produkte.

Produkt	$\Delta b^*$ -Mittelwerte (Standardabweichung)		
	$\Delta b^*$ U1 - U4	$\Delta b^*$ U2 - U4	$\Delta b^*$ U3 - U4
<i>blend-a-med Whitestrips</i>	-3,00 <sup>a,b,c</sup> (1,52)		0,33 (0,85)
<i>Colgate Simply White</i>	-0,60 <sup>a</sup> (1,08)		0,07 (0,51)
<i>el-ce med Easy White</i>	-0,49 <sup>b</sup> (0,93)		-0,25 (1,02)
<i>Perlweiss Bleaching Weiss</i>	-0,13 <sup>c</sup> (0,71)	0,10 (0,54)	

U1 Eingangsuntersuchung, U2 Zwischenuntersuchung (Abschluss für Perlweiss), U3 Abschlussuntersuchung, U4 Nachuntersuchung. Gleiche Buchstaben in einer Spalte zeigen statistisch signifikante Unterschiede.

Über den gesamten Untersuchungszeitraum, von der Eingangs- bis zur Nachuntersuchung, war das Produkt *blend-a-med Whitestrips* den Bleichmitteln *Colgate Simply White*, *el-ce med Easy White* und *Perlweiss Bleaching Weiss* bei der Reduktion des  $b^*$ -Wertes hoch signifikant überlegen ( $p < 0,001$ ; Mann-Whitney-Test).

Der Unterschied zwischen den drei Produkten *Colgate Simply White*, *el-ce med Easy White* und *Perlweiss Bleaching Weiss* war nicht signifikant (Mann-Whitney-Test).

Ein signifikanter Unterschied des mittleren  $\Delta b^*$ -Wertes vom Ende der Bleichtherapien bis zur Abschlussuntersuchung (U3-U4) war von *blend-a-med Whitestrips* zu *Colgate Simply White* und *el-ce med Easy White* nicht feststellbar (Mann-Whitney-Test).

Auch zwischen *Colgate Simply White* und *el-ce med Easy White* war der Wert nicht signifikant unterschiedlich.

Nach dem Bleichen mit *Perlweiss Bleaching Weiss*, das nur für eine Woche angewendet wurde, war in dem Untersuchungsintervall U2-U4 keine signifikante Veränderung des  $b^*$ -Wertes feststellbar.

## 5.1.4 Veränderungen der Vita - Zahnfarbwerte

### 5.1.4.1 Veränderungen der mittleren Vita-Zahnfarbwerte bei der Behandlung mit den verschiedenen Produkten

Zu jeder Untersuchung (U1, U2, U3, U4) erfolgte für die Frontzähne aller Gruppen eine visuelle Zuordnung zu Farbwerten der klassischen Vita-Lumin-Farbskala (Abb. 9). Die folgende Tabelle (Tab. 8) zeigt die numerische Zuordnung zu den Vitafarben auf dem klassischen Vita-Farbring.

**Tabelle 8:** Farbmuster der Vita-Lumin-Vacuum-Farbskala, von hell (1) nach dunkel (16) sortiert.

Vita	B1	A1	B2	D2	A2	C1	C2	D4	A3	D3	B3	A3,5	B4	C3	A4	C4
Rang	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16

Das nachfolgende Diagramm (Abb. 18) stellt die visuell bestimmten mittleren Vita-Farbwerte der Zähne der vier Probandengruppen zu den verschiedenen Untersuchungszeitpunkten dar. Erwartet wurde eine Verringerung der Werte, da jedem Farbmuster ein numerischer Wert zugeordnet wurde, der umso kleiner ist, je heller das Muster ist (Tab.8).

Bei der Bestimmung der Zahnfarbe nach dem Vita-Farbring wurde nach der ersten Behandlungswoche bei den vier Produkten *blend-a-med Whitestrips*, *Colgate Simply White*, *el-ce med Easy White* und *Perlweiss Bleaching Weiss* im Mittel eine signifikante Aufhellung der Zähne bei abnehmendem Vita-Farbwert beobachtet ( $p < 0,001$ ; Wilcoxon-Test).

Von den Produkten, die zwei Wochen anzuwenden waren, wurde bei den Probandengruppen, die *blend-a-med Whitestrips* und *Colgate Simply White* angewendet hatten, auch in der zweiten Behandlungswoche eine signifikante Abnahme des mittleren Vita-Farbwertes festgestellt ( $p < 0,001$ ; Wilcoxon-Test).

Bei dem Produkt *el-ce med Easy White* war eine geringere, aber ebenfalls signifikante Reduktion des Wertes feststellbar ( $p < 0,01$ ; Wilcoxon-Test).

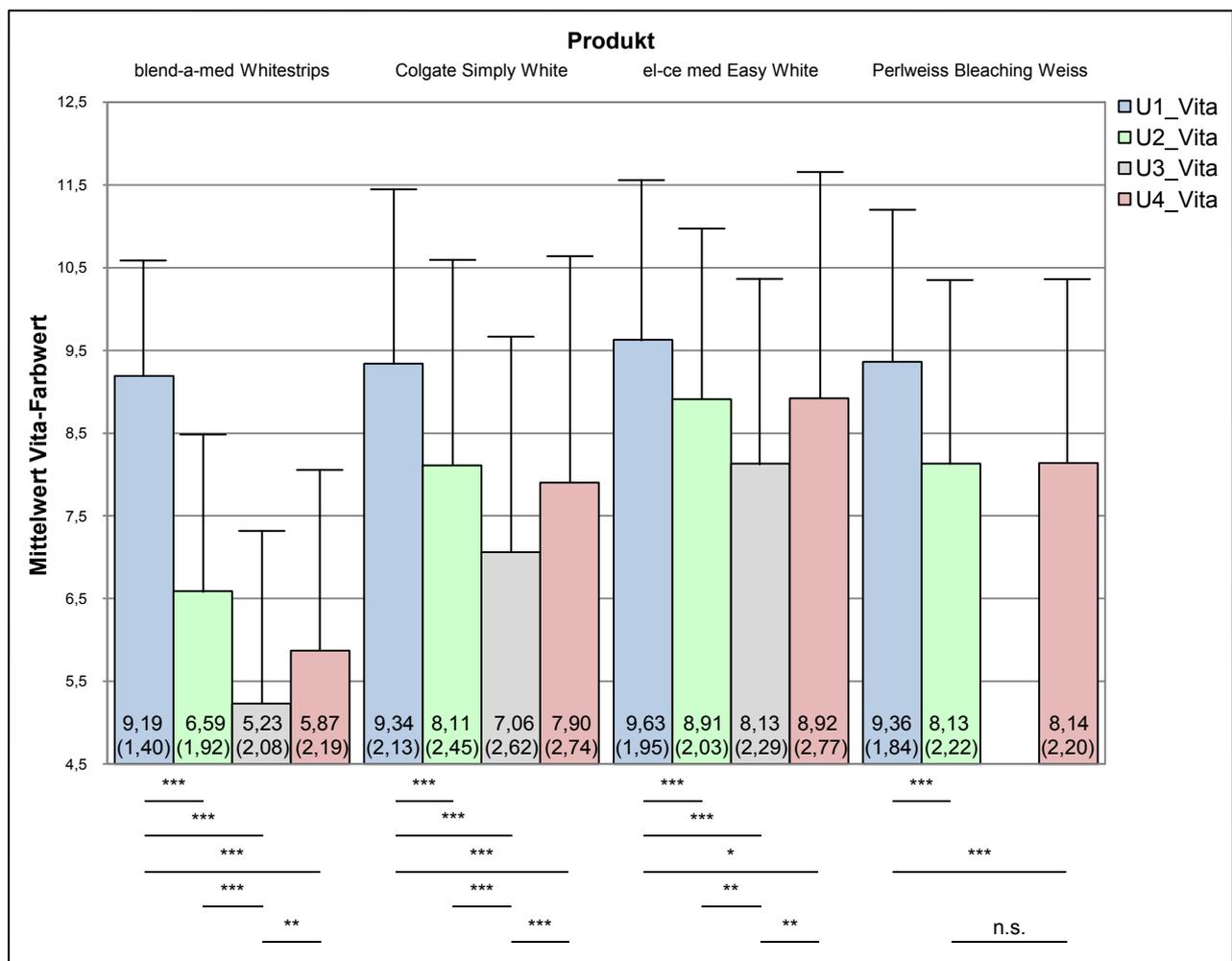
Vier Monate nach Ende der Bleichtherapie, zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung, wurde bei den Produkten *blend-a-med Whitestrips*, *Colgate Simply White* und *el-ce med Easy White* ein Rezidiv beobachtet. Die Zunahme des mittleren Vita-Farbwertes war sowohl bei den Produkten *blend-a-med Whitestrips* und *el-ce med Easy White*

( $p < 0,01$ , Wilcoxon-Test) als auch bei *Colgate Simply White* ( $p < 0,001$ , Wilcoxon-Test) signifikant im Vergleich zur Abschlussuntersuchung (U3-U4).

Im Vergleich zur Eingangsuntersuchung jedoch zeigte sich zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung (U1-U4) noch ein signifikant geringerer Vita-Farbwert nach Anwendung der Produkte *blend-a-med Whitestrips*, *Colgate Simply White* ( $p < 0,001$ , Wilcoxon-Test) und *el-ce med Easy White* ( $p < 0,05$ , Wilcoxon-Test).

Am Ende der Behandlung mit dem Bleichmittel *Perlweiss Bleaching Weiss* war der Vita-Farbwert für diese Gruppe im Vergleich zur Nachuntersuchung nach vier Monaten (U2-U4) im Mittel nicht signifikant unterschiedlich (Wilcoxon-Test).

Auch bei diesem Produkt war der Vita-Farbwert zur Nachuntersuchung signifikant geringer als zur Eingangsuntersuchung.

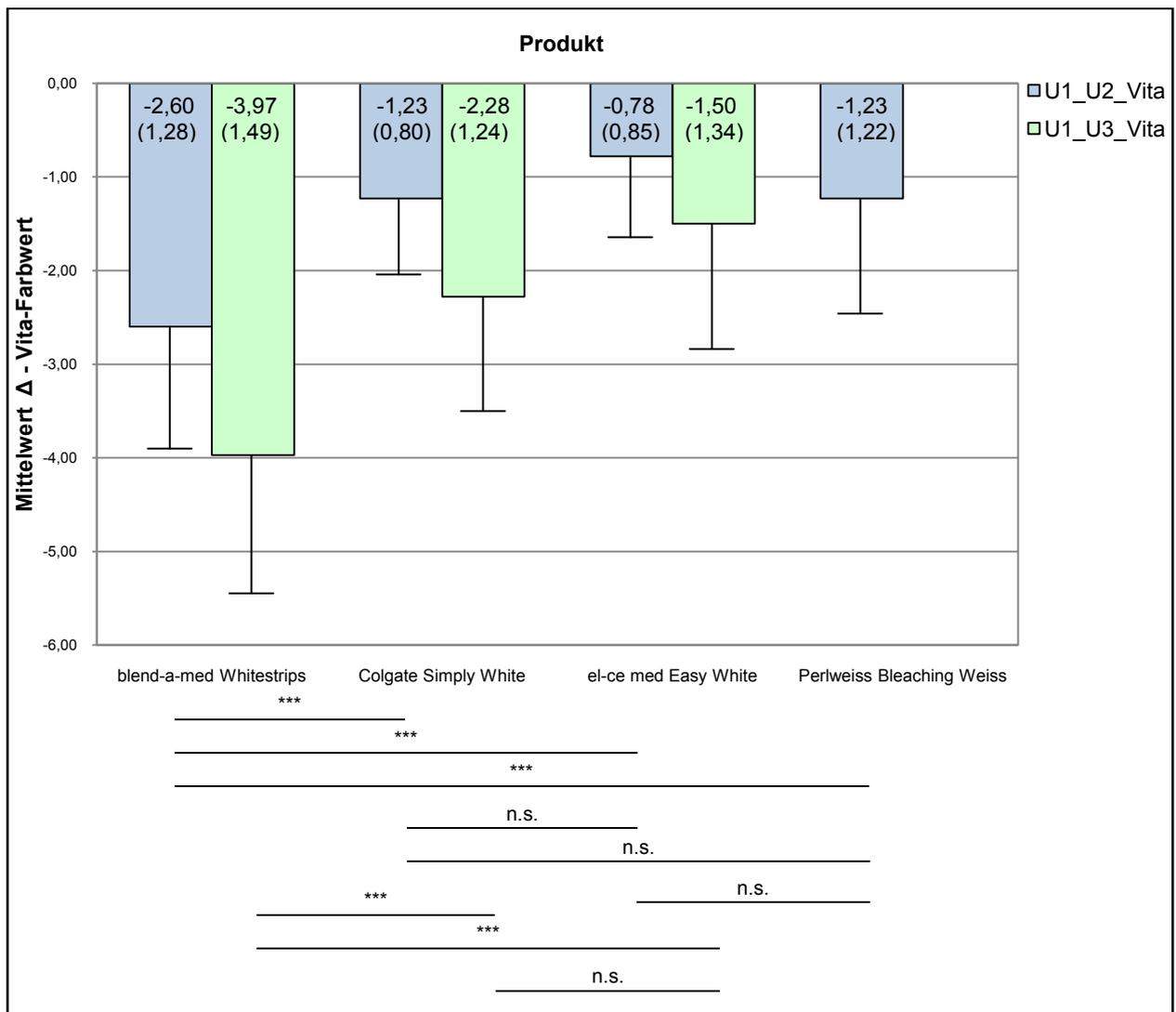


U1 Eingangsuntersuchung, U2 Zwischenuntersuchung (Abschluss für Perlweiss), U3 Abschlussuntersuchung, U4 Nachuntersuchung.

**Abb. 18:** Mittlere Vita-Farbwerte für die Untersuchungen U1,U2,U3 und U4 bei der Behandlung mit den verschiedenen Produkten. Mittelwerte (Standardabweichung).  
Statistische Signifikanz: \*  $p < 0,05$ , \*\*  $p < 0,01$ , \*\*\*  $p < 0,001$  (Wilcoxon-Test); n.s.: nicht signifikant.

### 5.1.4.2 Vergleich der Veränderung der mittleren Vita-Zahnfarbwerte der verschiedenen Bleichtherapien während der Behandlung

In der folgenden Abbildung (Abb.19) sind die Veränderungen der visuell ermittelten mittleren Vita-Farbwerte durch die Bleichtherapien mit den Produkten *blend-a-med Whitestrips*, *Colgate Simply White*, *el-ce med Easy White* und *Perlweiss Bleaching Weiss* gegenübergestellt.



U1\_U2 Eingangs- bis Zwischenuntersuchung (bzw. Abschluss für Perlweiss), U1\_U3 Eingangs- bis Abschlussuntersuchung.

**Abb. 19:**  $\Delta$  Vita-Farbwerte für die Untersuchungszeiträume U1-U2 und U1-U3 bei der Behandlung mit den verschiedenen Produkten. Mittelwerte (Standardabweichung).  
Statistische Signifikanz: \*\*\*  $p < 0,001$  (Wilcoxon-Test); n.s.: nicht signifikant.

Bei der Auswertung zeigte sich, dass die Anwendung von *blend-a-med Whitestrips* nach einer Woche zu einer signifikant größeren Reduktion des mittleren Vitafarbwertes

fürte als die drei Produkte *Colgate Simply White*, *el-ce med Easy White* und *Perlweiss Bleaching Weiss* ( $p < 0,001$ ; Mann-Whitney-Test).

Die Unterschiede zwischen den Produkten *Colgate Simply White*, *el-ce med Easy White* und *Perlweiss Bleaching Weiss* waren nach einer Woche Behandlung nicht signifikant (Mann-Whitney-Test).

Auch über den gesamten Zeitraum von zwei Wochen war nach der visuellen Farbbewertung *blend-a-med Whitestrips* den Produkten *Colgate Simply White* und *el-ce med Easy White* signifikant überlegen ( $p < 0,001$ ; Mann-Whitney-Test).

Zwischen *Colgate Simply White* und *el-ce med Easy White* waren die Unterschiede in der Farbveränderung über zwei Wochen nicht signifikant (Mann-Whitney-Test).

*Perlweiss Bleaching Weiss* wurde nur eine Woche angewendet und kam daher für diesen Zeitraum nicht zur Auswertung.

### 5.1.4.3 Vergleich der Produktgruppen bei der Veränderung der mittleren Vita-Farbwerte über den Gesamtzeitraum und nach der Behandlung

Die folgende Tabelle (Tab. 9) zeigt die Veränderung der visuell festgestellten Vita-Farbwerte über den gesamten Untersuchungszeitraum sowie nach Abschluss der Behandlung bis zur Nachuntersuchung bei den einzelnen Produktgruppen.

**Tabelle 9:**  $\Delta$  Vita-Farbwerte - Mittelwerte und Standardabweichungen (in Klammern) für den Gesamtzeitraum und vier Monate nach Ende der Behandlung für die verschiedenen Produkte.

Produkt	$\Delta$ Vita-Farbwerte-Mittelwerte (Standardabweichung)		
	$\Delta$ Vita-Farbwert U1 – U4	$\Delta$ Vita-Farbwert U2 – U4	$\Delta$ Vita-Farbwert U3 – U4
<i>blend-a-med Whitestrips</i>	-3,33 <sup>a,b,c</sup> (1,56)		0,57 (0,90)
<i>Colgate Simply White</i>	-1,45 <sup>a</sup> (1,15)		0,84 (0,98)
<i>el-ce med Easy White</i>	-0,79 <sup>b</sup> (1,66)		0,75 (1,00)
<i>Perlweiss Bleaching Weiss</i>	-1,25 <sup>c</sup> (1,14)	0,03 (0,70)	

U1 Eingangsuntersuchung, U2 Zwischenuntersuchung (Abschlussuntersuchung für Perlweiss), U3 Abschlussuntersuchung, U4 Nachuntersuchung. Gleiche Buchstaben in einer Spalte zeigen statistisch signifikante Unterschiede.

Vier Monate nach der Bleichtherapie war die mittlere Differenz des visuell ermittelten Vita-Farbwerts zwischen Eingangs- und Nachuntersuchung nach der Anwendung des Produktes *blend-a-med Whitestrips* signifikant größer als bei den Produkten *Colgate Simply White*, *el-ce med Easy White* und *Perlweiss Bleaching Weiss* ( $p < 0,001$ ; Mann-Whitney-Test).

Die Unterschiede zwischen den drei Produkten *Colgate Simply White*, *el-ce med Easy White* und *Perlweiss Bleaching Weiss* waren nicht signifikant (Mann-Whitney-Test).

Nach der Behandlung mit dem Produkt *Perlweiss Bleaching Weiss* war im Mittel nach vier Monaten kein Rezidiv feststellbar. Der Vita-Farbwert hatte sich im Vergleich zur Abschlussuntersuchung nicht signifikant verändert (Wilcoxon-Test).

Bei den Probanden der Gruppen, die *blend-a-med Whitestrips*, *Colgate Simply White* und *el-ce med Easy White* angewendet hatten, wurde zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung im Mittel jeweils ein Rezidiv beobachtet (Wilcoxon-Test).

Die Differenz der Vita-Farbwerte zwischen der Abschluss- und Nachuntersuchung war zwischen den Gruppen jedoch nicht signifikant unterschiedlich (Mann-Whitney-Test).

### 5.1.5 Vergleich der Produktgruppen bei der Veränderung der mittleren Gesamtfarbwerte $\Delta E^*$ über verschiedene Zeiträume

Die nachfolgende Tabelle 10 stellt die Veränderungen der mittleren Gesamtfarbwerte durch die Bleichtherapie mit den Produkten *blend-a-med Whitestrips*, *Colgate Simply White*, *el-ce med Easy White* und *Perlweiss Bleaching Weiss* gegenüber.

Der Farbabstandswert  $\Delta E^*$  errechnet sich nach der Formel

$$\Delta E^* = \sqrt{(\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2 + (\Delta L^*)^2} \quad (\text{DIN 6174}).$$

Untersucht wurde, ob sich  $\Delta E^*$  im Mittel nach einer Woche (U1-U2) für alle, nach zwei Wochen für die Produkte *blend-a-med Whitestrips*, *Colgate Simply White* und *el-ce med Easy White* und über den Gesamtzeitraum (U1-U4) bei allen vier Produkten signifikant voneinander unterschied (Mann-Whitney-Test).

Da das Produkt *Perlweiss Bleaching Weiss* nur für eine Woche zur Anwendung kam, wurde der Zeitraum U1-U3 hier nicht betrachtet.

**Tabelle 10:**  $\Delta E^*$  der verschiedenen Produkte nach einer Woche (U1\_U2), nach zwei Wochen (U1-U3) und zur Nachuntersuchung (U1\_U4).

Produkt	$\Delta E^*$ - Zeitraum	Minimum	Maximum	Median	Mittelwert	Standardabweichung
blend-a-med Whitestrips	$\Delta E^*$ U1_U2	1,06	15,47	3,06	3,81 <sup>a,b,c</sup>	2,87
	$\Delta E^*$ U1_U3	1,60	9,11	4,01	4,28 <sup>d,e</sup>	1,94
	$\Delta E^*$ U1_U4	1,33	7,96	3,67	3,83 <sup>f,g,h</sup>	1,29
Colgate Simply White	$\Delta E^*$ U1_U2	0,20	2,83	1,44	1,48 <sup>a</sup>	0,69
	$\Delta E^*$ U1_U3	0,17	4,21	1,72	1,85 <sup>d</sup>	1,12
	$\Delta E^*$ U1_U4	0,51	4,06	1,61	1,83 <sup>†</sup>	1,12
el-ce med Easy White	$\Delta E^*$ U1_U2	0,31	3,50	1,20	1,28 <sup>b</sup>	0,74
	$\Delta E^*$ U1_U3	0,51	3,66	1,72	1,74 <sup>e</sup>	0,76
	$\Delta E^*$ U1_U4	0,18	3,36	1,17	1,39 <sup>g</sup>	0,91
Perlweiss Bleaching Weiss	$\Delta E^*$ U1_U2	0,59	2,54	1,32	1,38 <sup>c</sup>	0,60
	$\Delta E^*$ U1_U3	----	----	----	----	----
	$\Delta E^*$ U1_U4	0,33	3,71	1,44	1,61 <sup>h</sup>	0,86

U1 Eingangsuntersuchung, U2 Zwischenuntersuchung (Abschluss für Perlweiss), U3 Abschlussuntersuchung, U4 Nachuntersuchung.  
Gleiche Buchstaben in einer Spalte zeigen statistisch signifikante Unterschiede.

Ein Vergleich von  $\Delta E^*$  der einzelnen Produkte zeigt, dass sich dieser Wert bei den Produkten *Colgate Simply White*, *el-ce med Easy White* und *Perlweiss Bleaching Weiss* in

den verschiedenen Untersuchungsintervallen nicht signifikant voneinander unterschied (Mann-Whitney-Test).

Allerdings war  $\Delta E^*$  von *blend-a-med Whitestrips* signifikant unterschiedlich zu jedem der anderen drei Produkte in allen genannten Untersuchungszeiträumen ( $p < 0,001$ ; Mann-Whitney-Test).

## 5.2 Fotos zu den verschiedenen Untersuchungen

Die folgenden Seiten zeigen zu jedem Bleichprodukt je ein Beispielfoto zur Eingangsuntersuchung (U1), nach einer Woche (U2), nach zwei Wochen Behandlung (U3; außer *Perlweiss Bleaching Weiss*) und zur Nachuntersuchung nach vier Monaten (U4).

### 5.2.1 Therapie mit blend-a-med Whitestrips



**Abb. 20:** Eingangsuntersuchung (U1) vor Anwendung von **blend-a-med Whitestrips**.



**Abb. 21:** Zwischenuntersuchung (U2) nach Anwendung von **blend-a-med Whitestrips**



**Abb. 22:** Abschlussuntersuchung (U3) nach Anwendung von **blend-a-med Whitestrips**



**Abb. 23:** Nachuntersuchung (U4) nach Anwendung von **blend-a-med Whitestrips**

Auf den Abbildungen 20-23 zeigt sich die Aufhellung der Zähne nach der Therapie mit **blend-a-med Whitestrips** an einem Beispiel. Besonders deutlich war der Bleicheffekt nach der ersten Woche (Abb. 21). Nach der zweiten Woche ist eine weitere Veränderung zu beobachten. Gut erkennbar ist das teilweise Rezidiv zur Nachuntersuchung (Abb. 23). Während der Bleichtherapie zeigen sich zudem wesentlich weniger Beläge.

## 5.2.2 Therapie mit Colgate Simply White



**Abb. 24:** Eingangsuntersuchung (U1) vor Anwendung von **Colgate Simply White**.



**Abb. 25:** Zwischenuntersuchung (U2) nach Anwendung von **Colgate Simply White**



**Abb. 26:** Abschlussuntersuchung (U3) nach der Anwendung von **Colgate Simply White**.



**Abb. 27:** Nachuntersuchung (U4) nach der Anwendung von **Colgate Simply White**.

Die Abbildungen 24-27 zeigen ein Beispiel des Zustandes der Frontzähne vor (Abb. 24), während (Abb. 25) und nach (Abb. 26 und 27) der Bleichtherapie mit **Colgate Simply White**.

Während in diesem Beispiel nach der ersten Woche auf dem Foto (Abb. 25) eine leichte Aufhellung erkennbar ist, zeigten sich nach Ablauf der zweiten Woche die Zähne eindeutig heller. Die Gingiva erscheint sowohl nach der ersten als auch nach der zweiten Woche der Behandlung reizlos.

Zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung nach vier Monaten (Abb. 27) ist ein geringes Rezidiv erkennbar.

### 5.2.3 Therapie mit el-ce med Easy White



**Abb. 28:** Eingangsuntersuchung (U1) vor Anwendung von **el-ce med Easy White**.



**Abb. 29:** Zwischenuntersuchung (U2) nach einer Woche Anwendung von **el-ce med Easy White**.



**Abb. 30:** Abschlussuntersuchung (U3) nach zwei Wochen Anwendung von **el-ce med Easy White**.



**Abb. 31:** Nachuntersuchung (U4), vier Monate nach Anwendung von **el-ce med Easy White**.

Die Abbildungen 28-31 zeigen ein Beispiel der Frontzähne vor (Abb. 28), während (Abb. 29) und nach (Abb. 30) der Bleichtherapie mit **el-ce med Easy White** sowie zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung nach vier Monaten (Abb. 31).

In diesem Beispiel ist eine geringfügige Aufhellung der Zahnfarbe nach der ersten Woche Behandlung erkennbar (Abb. 29), die jedoch zum Zeitpunkt der Abschlussuntersuchung bereits rückläufig zu sein scheint.

## 5.2.4 Therapie mit Perlweiss Bleaching Weiss



**Abb. 32:** Eingangsuntersuchung (U1) vor Anwendung von **Perlweiss Bleaching Weiss**.



**Abb. 33:** Abschlussuntersuchung (U2) nach der einwöchigen Anwendung von **Perlweiss Bleaching Weiss**.



**Abb. 34:** Nachuntersuchung (U4), vier Monate nach Anwendung von **Perlweiss Bleaching Weiss**.

Die Abbildungen 32 bis 34 zeigen das Beispiel eines Probanden vor und nach der Anwendung von **Perlweiss Bleaching Weiss**. In diesem Beispiel führt die Bleichtherapie mit diesem Produkt zu einer geringen, aber visuell wahrnehmbaren Zahnaufhellung nach der einwöchigen Therapie (Abb. 33).

Dieses Ergebnis erwies sich zur Nachuntersuchung nach vier Monaten (U4) als stabil (Abb. 34).

### 5.3. Nebenwirkungen

#### 5.3.1 Hypersensibilitäten der Zähne

Eine der häufigsten Nebenwirkungen einer Bleichtherapie ist die Entwicklung von Hypersensibilitäten. Die Tabellen 11 und 12 zeigen produktabhängige Empfindlichkeiten nach einer Woche für alle Produkte und nach zwei Wochen Bleichtherapie für die Produkte *blend-a-med Whitestrips*, *Colgate Simply White* und *el-ce med Easy White*.

**Tabelle 11:** Produktabhängige Ausprägung von Hypersensibilitäten nach einer Woche Bleichtherapie.

Produkt Probanden Aussage	blend-a-med Whitestrips		Colgate Simply White		el-ce med Easy White		Perlweiss Bleaching Weiss	
	Anzahl	%	Anzahl	%	Anzahl	%	Anzahl	%
keine Empfindlichkeiten	8	32,0%	23	92,0%	22	88,0%	23	92,0%
geringe Empfindlichkeiten	7	28,0%	1	4,0%	2	8,0%	2	8,0%
starke Empfindlichkeiten	10	40,0%	1	4,0%	1	4,0%	0	0%

**Tabelle 12:** Produktabhängige Ausprägung von Hypersensibilitäten nach zwei Wochen Bleichtherapie.

Produkt Probanden Aussage	blend-a-med Whitestrips		Colgate Simply White		el-ce med Easy White		Perlweiss Bleaching Weiss	
	Anzahl	%	Anzahl	%	Anzahl	%	Anzahl	%
keine Empfindlichkeiten	6	24,0%	22	88,0%	17	68,0%		
geringe Empfindlichkeiten	9	36,0%	2	8,0%	7	28,0%		
starke Empfindlichkeiten	10	40,0%	1	4,0%	1	4,0%		

Starke Hypersensibilitäten wurden von 40% der Anwender (zehn Probanden) von *blend-a-med Whitestrips* über den gesamten Zeitraum beschrieben. Nur acht der 25 Anwender dieses Produktes beschrieben keinerlei Empfindlichkeiten in der ersten Woche, sieben Personen empfanden ihre Zähne als gering empfindlich unter der Therapie. In der zweiten Woche stellten hier nur noch sechs Personen keine Hypersensibilitäten fest.

Im Gegensatz dazu zeigten sich bei der Mehrheit von 88% bis 92% der Benutzer der anderen drei Produkte keinerlei Empfindlichkeiten. Nur je eine Person stellte während der Anwendung von *Colgate Simply White* und *el-ce med Easy White* starke Hypersen-

sibilitäten fest. Mit Rückblick auf die zuvor beschriebenen Ergebnisse der Wirksamkeit der Produkte in Bezug auf die Aufhellung der Zahnfarbe, lässt sich hier eine Korrelation feststellen. Während sich *blend-a-med Whitestrips*, das Produkt mit den meisten Hypersensibilitäten, im Mittel durch eine gute aufhellende Wirkung auszeichnete, war bei den drei Produkten mit der geringeren Neigung, Empfindlichkeiten zu verursachen, eine deutlich geringere Aufhellung feststellbar.

Als Folge der Hypersensibilitäten gaben von der Gruppe, die *blend-a-med Whitestrips* angewendet hatte, elf Probanden an, die Anwendung ein- bis achtmal ausgelassen zu haben. Bei den Anwendern der Produkte *Colgate Simply White* und *Perlweiss Bleaching Weiss* ließ je eine Person je eine Anwendung aus, in der Gruppe von *el-ce med Easy White* wurden von einem Probanden zwei und von einem anderen Teilnehmer sieben Behandlungen ausgelassen. Die Verteilung ist Tabelle 13 zu entnehmen.

**Tabelle 13:** Unterbrechung der Therapie in Folge von Nebenwirkungen.

Produkt Probanden Aussage	blend-a-med Whitestrips		Colgate Simply White		el-ce med Easy White		Perlweiss Bleaching Weiss	
	Anzahl	%	Anzahl	%	Anzahl	%	Anzahl	%
8 Anwendungen ausgelassen	1	4,0%						
7 Anwendungen ausgelassen	1	4,0%			1	4,0%		
5 Anwendungen ausgelassen	1	4,0%						
4 Anwendungen ausgelassen	1	4,0%						
3 Anwendungen ausgelassen	2	8,0%						
2 Anwendungen ausgelassen	4	16,0%						
eine Anwendung ausgelassen	1	4,0%	1	4,0%	2	8,0%	1	4,0%

### 5.3.2 Reizungen der Gingiva

Dass die Gingiva durch das Bleichen zumindest temporär geschädigt werden kann, widerspiegelt sich in den Aussagen der Probanden, die in der folgenden Tabelle 14 erfasst wurden.

**Tabelle 14:** Reizungen des Zahnfleisches während der Bleichtherapie mit den verschiedenen Produkten.

Produkt Probanden Aussage	blend-a-med Whitestrips		Colgate Simply White		el-ce med Easy White		Perlweiss Bleaching Weiss	
	Anzahl	%	Anzahl	%	Anzahl	%	Anzahl	%
nein	19	76,0%	21	84,0%	23	92,0%	20	80,0%
ja	6	24,0%	4	16,0%	2	8,0%	5	20,0%

Zunächst ist festzustellen, dass die Mehrheit der Teilnehmer (76-92%) keine Zahnfleischreizungen beobachtet hatte.

24% (sechs Personen) der Anwender von *blend-a-med Whitestrips* gaben Reizungen der Gingiva zu Protokoll.

Bei dem Produkt *Perlweiss Bleaching Weiss* waren es mit fünf Probanden 20% der Anwender, bei *Colgate Simply White* 16% (vier Personen).

Bei den Verbrauchern des Produktes *el-ce med Easy White* beobachteten die wenigsten Teilnehmer das Auftreten von Zahnfleischreizungen.

## 5.4 Auswertung der Fragebögen

Zur Ermittlung der Patientenakzeptanz und Produktbewertung wurden die Probanden zu den Untersuchungen befragt und erhielten darüber hinaus Fragebögen, in denen sie sich zu dem von ihnen verwendeten Produkt äußern konnten. Die Feststellungen und Aussagen der Teilnehmer sind in den folgenden Tabellen und Grafiken zusammengefasst. Dabei sind in den Tabellen zur besseren Übersicht jeweils die Höchstwerte hervorgehoben.

In Tabelle 15 sind die Meinungen dargestellt, die die Probanden bezüglich ihrer Erwartungen geäußert hatten.

**Tabelle 15: Frage:** Wenn Sie alles in Betracht ziehen, wie gut hat das Bleichmittel Ihre Erwartungen erfüllt?

Produkt Probanden Aussage	blend-a-med Whitestrips		Colgate Simply White		el-ce med Easy White		Perlweiss Bleaching Weiss	
	Anzahl	%	Anzahl	%	Anzahl	%	Anzahl	%
schlechter als erwartet	4	16,0%	9	36,0%	12	48,0%	9	36,0%
wie erwartet	7	28,0%	14	56,0%	10	40,0%	12	48,0%
besser als erwartet	14	56,0%	2	8,0%	3	12,0%	4	16,0%

Wie der Tabelle 15 entnommen werden kann, gaben von den 25 Probanden die *blend-a-med Whitestrips* angewendet hatten, 14 zu Protokoll, dass das Produkt über ihre Erwartungen hinausging. Bei den Produkten *Perlweiss Bleaching Weiss*, *el-ce med Easy White* und *Colgate Simply White* trafen nur vier, drei bzw. zwei Personen diese Aussage. Im Gegensatz dazu waren nur vier Personen von den *blend-a-med Whitestrips* enttäuscht, allerdings zwölf Teilnehmer, die *el-ce med Easy White* und je neun Probanden, die *Colgate Simply White* und *Perlweiss Bleaching Weiss* angewendet hatten.

Der folgenden Tabelle 16 können die Empfindungen der Teilnehmer den einzelnen Produkten gegenüber entnommen werden.

**Tabelle 16:** Frage: Wie würden Sie Ihre Empfindungen hinsichtlich des verwendeten Bleichmittels charakterisieren?

Produkt Probanden Aussage	blend-a-med Whitestrips		Colgate Simply White		el-ce med Easy White		Perlweiss Bleaching Weiss	
	Anzahl	%	Anzahl	%	Anzahl	%	Anzahl	%
mochte es überhaupt nicht	2	8,0%						
mochte es nicht besonders	1	4,0%	1	4,0%	1	4,0%		
mochte es nicht					2	8,0%		
mochte es eher nicht	4	16,0%	4	16,0%	1	4,0%	6	24,0%
Neutral	6	24,0%	6	24,0%	10	40,0%	8	32,0%
mochte es eher gern	4	16,0%	3	12,0%	3	12,0%		
mochte es	3	12,0%	4	16,0%	7	28,0%	7	28,0%
mochte es ganz gern	4	16,0%	7	28,0%	1	4,0%	4	16,0%
mochte es sehr gern	1	4,0%						

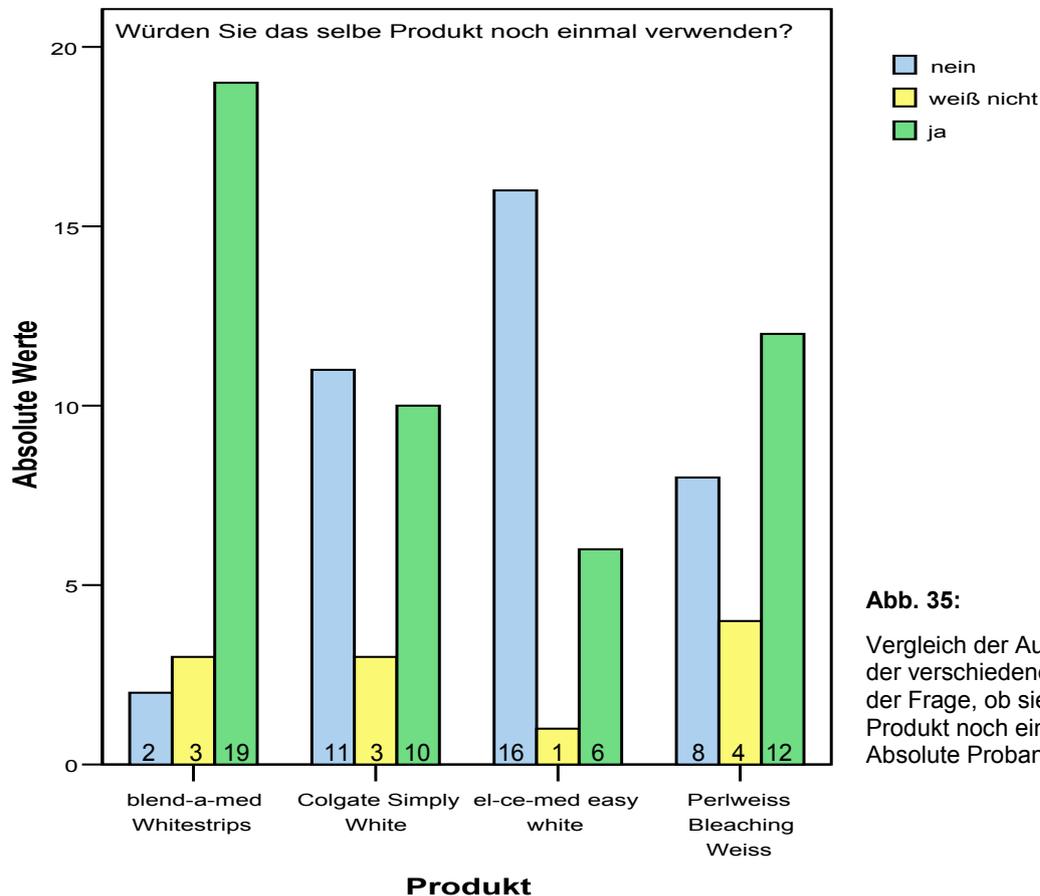
Wie aus der Tabelle 16 hervorgeht, waren die Empfindungen der Probanden ihren Produkten gegenüber tendenziell positiv. 84% der Anwender von *el-ce med Easy White*, 80% von *Colgate Simply White*, 76% von *Perlweiss Bleaching Weiss* und 72% der Anwender von *blend-a-med Whitestrips* stufen ihre Empfindungen als neutral und positiv ein.

Zwei der *blend-a-med Whitestrips*-Anwender gaben eine völlige Abneigung zu Protokoll. Die persönliche Einschätzung der Probanden darüber, ob die Bleichtherapie ihre Zähne weißer gemacht hätte, ist der folgenden Tabelle 17 zu entnehmen. Hier stimmt mit 60% der Anwender von *blend-a-med Whitestrips* eine deutliche Mehrheit dieser Aussage völlig zu. Die verbliebenen 40% stimmen zumindest teilweise zu und kein Proband dieser Gruppe verneint eine Bleichwirkung. Auch bei den anderen Produktgruppen gibt die Mehrzahl der Probanden eine festgestellte Aufhellung der Zähne zu Protokoll. Allerdings stimmen nur 20, 16 bzw. 12% der Anwender aus den Gruppen *Colgate Simply White*, *Perlweiss Bleaching Weiss* und *el-ce med Easy White* dieser Aussage völlig zu. Dafür verneinen sieben Probanden aus der *el-ce med Easy White*-Gruppe diese Frage und je zwei der Anwender von *Colgate Simply White* und *Perlweiss Bleaching Weiss*.

**Tabelle 17:** Das Produkt hat meine Zähne weißer gemacht.

Produkt Probanden	blend-a-med Whitestrips		Colgate Simply White		el-ce med Easy White		Perlweiss Bleaching Weiss	
	Anzahl	%	Anzahl	%	Anzahl	%	Anzahl	%
stimme überhaupt nicht zu					1	4,0%	1	4,0%
stimme nicht zu			1	4,0%	3	12,0%	1	4,0%
stimme eher nicht zu			1	4,0%	3	12,0%		
stimme teils teils zu	2	8,0%	1	4,0%	2	8,0%	5	20,0%
stimme eher zu	3	12,0%	6	24,0%	7	28,0%	7	28,0%
stimme ziemlich zu			10	40,0%	3	12,0%	4	16,0%
stimme zu	5	20,0%	1	4,0%	3	12,0%	3	12,0%
stimme völlig zu	15	60,0%	5	20,0%	3	12,0%	4	16,0%

Diese Angaben widerspiegeln sich in der nachfolgenden Grafik, die darstellt, wie viele Probanden das von ihnen verwendete Produkt noch einmal anwenden würden (Abb. 35).

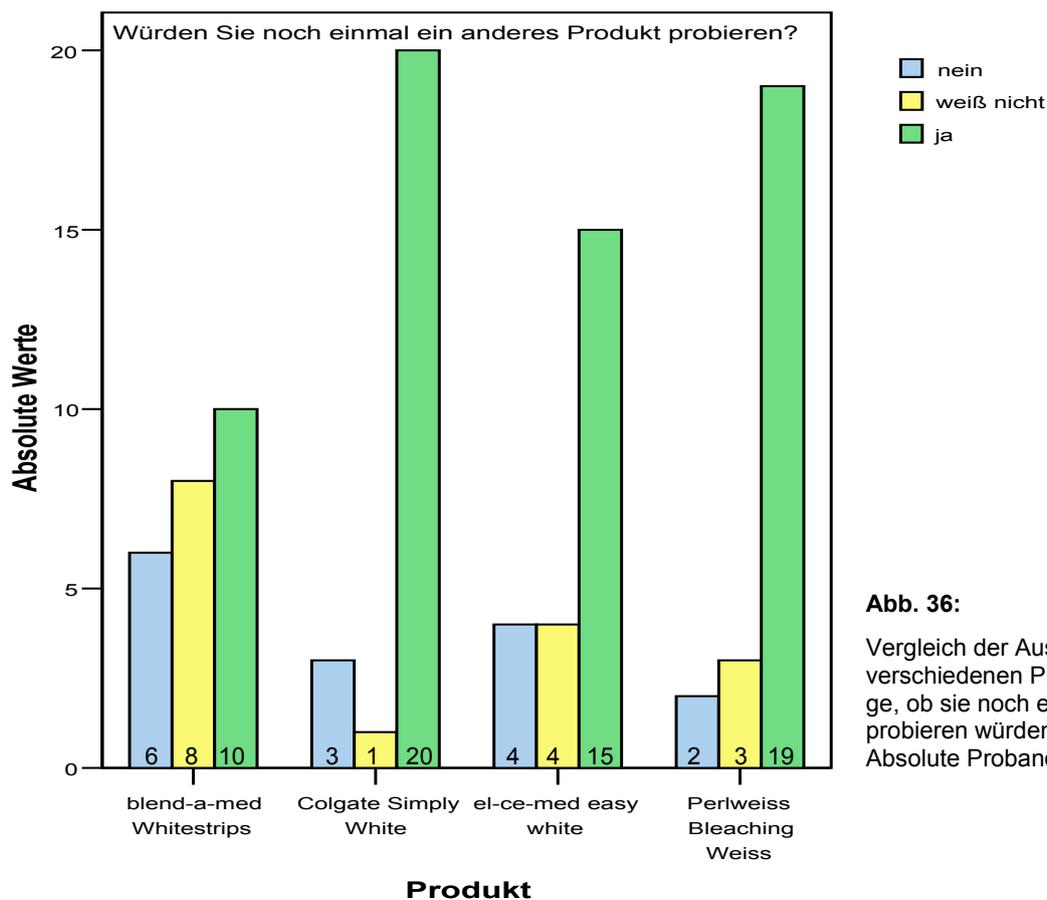


**Abb. 35:** Vergleich der Aussagen der Probanden der verschiedenen Produktgruppen zu der Frage, ob sie das ihnen zugewiesene Produkt noch einmal anwenden würden. Absolute Probandenanzahl.

Obwohl fast alle Teilnehmer aus der *blend-a-med Whitestrips*-Gruppe der Frage, ob das Produkt ihre Zähne weißer gemacht hätte, zustimmten, würden nur neunzehn von ihnen dieses Produkt wieder anwenden. Aber auch zwölf Anwender von *Perlweiss Bleaching Weiss* würden eine Therapie mit ihrem Produkt wiederholen. Bei den Benutzern von *Colgate Simply White* und *el-ce med Easy White* sind es zehn bzw. sechs Personen, für die eine erneute Behandlung in Frage käme.

Eine Ablehnung einer nochmaligen Anwendung des zugewiesenen Produktes wird bei der *el-ce med Easy White*-Gruppe mit 16 von 23 Personen besonders deutlich. *Colgate Simply White* würde von elf, *Perlweiss Bleaching Weiss* von acht der Anwender und *blend-a-med Whitestrips* nur von zwei der Benutzer nicht mehr verwendet werden.

Ob die Studienteilnehmer auf Grund ihrer Erfahrungen mit dem von ihnen verwendeten Produkten noch einmal eine Bleichtherapie mit einem anderen Produkt versuchen würden, ist der nächsten Grafik zu entnehmen (Abb. 36)



**Abb. 36:**

Vergleich der Aussagen der Probanden der verschiedenen Produktgruppen zu der Frage, ob sie noch einmal ein anderes Produkt probieren würden. Absolute Probandenzahl.

Während sich bei der Produktgruppe von *blend-a-med Whitestrips* nur zehn Personen bezüglich einer erneuten Therapie mit einem anderen Produkt positiv äußerten, fand dieser Aspekt bei den anderen Gruppen deutliche Zustimmung.

20 von 24 Benutzern von *Colgate Simply White* können sich eine Therapie mit einem anderen Produkt vorstellen.

Für 19 bzw. 15 Anwender von *Perlweiss Bleaching Weiss* bzw. *el-ce med Easy White* käme die Benutzung eines anderen Produktes ebenfalls in Frage.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass es bei den Bleichtherapien mit den frei verkäuflichen Produkten *blend-a-med Whitestrips*, *Colgate Simply White*, *el-ce med Easy White* und *Perlweiss Bleaching Weiss* zu messbaren und visuell wahrnehmbaren Aufhellungen der Zähne kam.

Allerdings wurde deutlich, dass *blend-a-med Whitestrips* den anderen Produkten in der aufhellenden Wirkung deutlich überlegen waren.

Dies betraf sowohl die  $L^*a^*b^*$ - und  $\Delta E^*$ -Werte als auch die Ergebnisse bei der visuellen Farbbestimmung.

Allerdings beschrieben deutlich mehr Probanden dieser Gruppe starke Hypersensibilitäten der Zähne im Verlauf der Therapie, während diese Nebenwirkung nur von wenigen Anwendern der anderen drei Produkte beschrieben wurde.

## **6. Diskussion**

### **6.1 Probanden und Methoden**

#### 6.1.1 Probanden

Bei der Auswahl der Probanden wurde auf eine ausgewogene Beteiligung von männlichen und weiblichen Teilnehmern in jeder Gruppe Wert gelegt.

Bezüglich der Wahl der Teilnehmer war zu klären, ob Raucher von der Untersuchung auszuschließen waren.

Um jedoch in der Untersuchung eine möglichst realistische Zusammensetzung der Probandengruppen zu erreichen, wurde entschieden, dass Rauchen, wie auch durch andere Autoren beschrieben (BRUNTON et al. 2004, COLLINS et al. 2004, GAMBARINI et al. 2003, 2004, GERLACH und BARKER 2003, GERLACH et al. 2004), nicht als Ausschlusskriterium gelten sollte. Allerdings wurde auf eine gleichmäßige Verteilung in die einzelnen Gruppen geachtet. So betrug der Anteil der Raucher je Gruppe 32-36%.

Während in anderen Untersuchungen eine vorangegangene professionelle Zahnreinigung als Ausschlusskriterium galt (GERLACH und BARKER 2003, GERLACH et al. 2004), wurde in der vorliegenden Untersuchung bei jedem Probanden drei Wochen vor Beginn der Studie eine professionelle Zahnreinigung durchgeführt, um externe Verfärbungen zu reduzieren (KIELBASSA und WRBAS 2000a, WRBAS und KIELBASSA 2000, BROWN 1965).

Somit konnte bei allen Probanden von der gleichen Ausgangssituation ausgegangen werden, in der sich die Bleichtherapie vor allem gegen interne Verfärbungen richtete.

Das Alter der Teilnehmer umfasste einen Bereich von 17 bis 67 Jahren. Ähnliche Altersverteilungen wurden in anderen Untersuchungen beschrieben (BRUNTON et al. 2004, COLLINS et al. 2004, GAMBARINI et al. 2003, 2004).

Obwohl GERLACH et al. (2002) beobachteten, dass sich der Farbwert  $b^*$  nach dem Gebrauch von blend-a-med Whitestrips signifikant mehr bei jüngeren als bei älteren Probanden reduzierte, wurde den gemischten Altersgruppen der Vorzug gegeben, da eine möglichst reale Situation geschaffen werden sollte.

Ob es in der vorliegenden Untersuchung statistisch signifikante altersabhängige Unterschiede in der Wirksamkeit der hier verwendeten Produkte gab, lässt sich an dieser

Stelle nicht klären, da die Probandenzahl in den einzelnen Altersgruppen für eine derartige Aussage zu gering war.

Eine helle Zahnfarbe wird von Menschen verschiedenen Alters und unabhängig von der Zugehörigkeit zu verschiedenen ethnischen Gruppen, Geschlecht, Einkommenssituation oder Bildungsniveau als ein vorrangiges Attraktivitätsmerkmal wahrgenommen (DUNN et al. 1996).

Dies bestätigte die Befragung in der vorliegenden Untersuchung, in der 89% der Teilnehmer angaben, dass Menschen mit weißen Zähnen auf sie attraktiver wirkten. Allen Beteiligten waren weiße Zähne für sich selbst wichtig (73%) bis sehr wichtig (27%). Auch dass für Frauen weiße Zähne bedeutender sind als für Männer (VALLITTU et al. 1996), wird durch das Interesse und die Beteiligung an der Untersuchung, an der 55% der Teilnehmer weiblich waren, bestätigt.

Als minimal invasive Maßnahme zur Aufhellung der Zahnfarbe haben sich verschiedene Bleichtherapien etabliert. Diese können je nach Indikation von extern oder von intern durchgeführt werden.

In der vorliegenden Untersuchung sollten vier ausgewählte frei verkäufliche Produkte unterschiedlicher Konzentration, Wirkstoffe und Applikationsart auf ihre Wirksamkeit und Akzeptanz hin untersucht und verglichen werden.

Dabei handelte es sich um *blend-a-med Whitestrips* (Strips, 6% Wasserstoffperoxid, zweimal täglich á 30 Minuten), *Colgate Simply White* (Gel zum Pinseln, 5,9% Wasserstoffperoxid, zweimal täglich), *el-ce med Easy White* (Gel zum Pinseln, 7-8% Wasserstoffperoxid, zweimal täglich) und *Perlweiss Bleaching Weiss* (10,5-11,5% Carbamidperoxid, zweimal täglich).

Mit Ausnahme von *Perlweiss Bleaching Weiss*, welches nur für eine Woche anzuwenden war, sollten alle anderen Produkte für 14 Tage verwendet werden. Während Whitestrips nach 30 Minuten zu entfernen waren, lösten sich die Gele selbständig auf.

### 6.1.2 Applikation und Konzentration der Produkte

Der Vergleich dieser Produkte bedeutet, zwei verschiedene Applikationsarten sowie verschiedene Wirkstoffe und deren Konzentration zu vergleichen. Da *blend-a-med Whitestrips* einen Gehalt von 6% Wasserstoffperoxid und *Colgate Simply White* von 5,9% Wasserstoffperoxid enthielten, ist es unwahrscheinlich, dass die deutlichen Unterschiede in der Wirkung hier allein auf die Konzentration der Wirkstoffe zurückzuführen waren. Das Produkt *el-ce med Easy White* wies mit 7-8% Wasserstoffperoxid sogar einen höheren Wirkstoffgehalt als *blend-a-med Whitestrips* auf, zeigte aber durch die Behandlung eine signifikant geringere Wirkung. Der offensichtlichste Unterschied zwischen den angewendeten Produkten war vor allem deren Applikation. Während bei den Pinselprodukten die Wirkstoffe nach einigen Sekunden Trocknungszeit der Verdünnung und Elimination durch den Speichel ausgesetzt sind, wird das Peroxid durch den Trägerstreifen am Zahn fixiert und vor dem Speichel geschützt.

Der Frage, ob die Barriere zwischen Zahn und Wirkstoff die Ursache für die unterschiedliche Wirksamkeit der Produkte ist, gingen FARRELL et al. (2006) in einer Untersuchung nach. Dazu ließen sie die Probanden die Zähne mit *Colgate Simply White* aufhellen. Allerdings applizierte die Hälfte der Teilnehmer nach dem Aufpinseln des Gels einen Polyethylenstreifen darüber. Im Resultat zeigte sich in der Wirkung desselben Produktes ein signifikanter Unterschied. Am fünften Tag unterschieden sich die Farbparameter  $L^*$  und  $b^*$  nur in dieser Gruppe signifikant von den Werten vor der Behandlung. Am Ende der einwöchigen Behandlung war die Reduktion des Gelbwertes  $b^*$  signifikant höher bei der Gruppe, die zusätzlich den Streifen appliziert hatte.

Das Resultat dieser Untersuchung lässt den offensichtlichen Zusammenhang zwischen Applikationsform und Wirksamkeit der Bleichprodukte erkennen.

Eine andere Frage werfen die Ergebnisse von *Colgate Simply White*, *el-ce med Easy White* und *Perlweiss Bleaching Weiss* auf. Die höhere Konzentration von *el-ce med Easy White* (7-8%  $H_2O_2$ ) im Vergleich zu *Colgate Simply White* (5,9%  $H_2O_2$ ) ließ eine stärkere Wirkung des höher dosierten Produktes erwarten.

*Perlweiss Bleaching Weiss* mit einer Konzentration von 10,5-11,5% Carbamidperoxid, das einer realen  $H_2O_2$ -Konzentration von ca. 4%  $H_2O_2$  entsprach, hätte demzufolge die geringste Veränderung erwarten lassen, zumal es nur über einen Zeitraum von einer Woche angewendet wurde. Tatsächlich wurden jedoch weder nach einer Woche noch

zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung nach vier Monaten signifikante Unterschiede in der Bleichwirkung dieser drei Produkte bei den L<sup>\*</sup>-, a<sup>\*</sup>- und b<sup>\*</sup>- Farbwerten und auch nicht bei dem Gesamtfarbwert  $\Delta E^*$  beobachtet.

Über die Gründe konnten hier nur Vermutungen angestellt werden. Denkbar wäre, dass die Ursache in der Rezeptur der Produkte lag. Dies kann jedoch hier nicht geklärt werden.

## 6.2 Farbbestimmung

Wenngleich in vielen Untersuchungen die Farbveränderungen visuell mittels Farbringen bestimmt wurde (BRUNTON et al. 2004, COLLINS et al. 2004, GAMBARINI et al. 2004, GINIGER et al. 2005, LEONARD 1998, LEONARD jr. et al. 2001, NATHOO et al. 2002), wurden in einer Vielzahl von anderen Studien diese Veränderungen unter Anwendung elektronischer Systeme zur Farbbestimmung ermittelt. Dabei kommen sowohl berührende (NAKAMURA et al. 2001, ROSENSTIEL et al. 1991, SETZ 1992, TSUBARU und YAMAGUCHI 2005) als auch berührungsfreie Verfahren zum Einsatz (FERRARI et al. 2004, GERLACH und BARKER 2003, GERLACH et al. 2004b).

In anderen Studien erfolgte die Farbbestimmung sowohl individuell als auch elektronisch (GUAN et al. 2005, KUGEL et al. 2004, MATIS et al. 1998).

### 6.2.1 Visuelle Farbbestimmung

In der vorliegenden Untersuchung wurde neben der objektiven Messung der Farbparameter mittels elektronischem Farbmessgerät eine Farbbestimmung unter Anwendung eines Vita-Lumin-Farbringes vorgenommen. Dieser Farbring ist seit vielen Jahren weltweit im Gebrauch und hat sich in der täglichen Praxis hinreichend bewährt. Die Anwendung ist einfach und nach wie vor sind viele zahnfarbene Füllungsmaterialien daran ausgerichtet. Die Muster können nach Helligkeit sortiert und einem Zahlenwert zugeordnet werden.

Die visuelle Bestimmung der Zahnfarbe nach Farbringen ist allerdings nicht immer eindeutig möglich. Dazu werden in der Literatur verschiedene Ursachen diskutiert.

Zum einen unterliegt der Betrachter Schwankungen in seinem Farbsinn, die durch Müdigkeit oder Medikamente ausgelöst werden können. Zum anderen beeinflussen Umgebungsbedingungen wie Helligkeits- und Farbkontrast, Lichteinfallswinkel oder Art des Lichtes ebenfalls die Farbwahrnehmung. Aus diesem Grund ist eine Standardisierung in der visuellen Zahnfarbbestimmung praktisch unmöglich (YAMAMOTO 1998).

KAPPERT und BREGLER (1992) stellten dazu fest: „... *Farbempfindung ist sehr subjektiv. Selbst wenn man von Farbenfehlsichtigkeit absieht, ist die Farbempfindlichkeit der Augen verschiedener Menschen nicht völlig gleich; sie ist sogar bei ein und demselben Menschen über längere Zeit nicht gleichbleibend und kann in verschiedenen Situationen, z.B. abhängig vom Ermüdungszustand, sehr wechselhaft sein.*“

Einen weiteren Nachteil bei der Farbbestimmung mittels Farbmusterzähnen beschrieben KAPPERT und BREGLER (1992) und auch YAMAMOTO (1998). Sie stellten fest, dass der Farbbereich der natürlichen Zähne durch den Vita-Farbring nicht ausreichend abgedeckt wird und dass eigentlich nicht klar ist, welche Stelle des Zahnes mit welcher Stelle des Musterzahnes zu vergleichen ist. Dies trifft jedoch für Farbmusterringe anderer Hersteller gleichermaßen zu (KAPPERT und BREGLER 1992).

Im Rahmen einer Bleichtherapie weist der verwendete Vita-Farbring einen weiteren wesentlichen Mangel auf. Im Anschluss an eine Bleichtherapie kann ein Zahn eine Helligkeit erreichen, die oberhalb des hellsten Farbmusters (B1) liegt. Dies ist sicher darin begründet, dass bei der Entwicklung des Farbringes eine Bleichtherapie als standardmäßige Therapie nicht absehbar war. Hier könnten Farbringe zur Anwendung kommen, die mehrere Bleichfarben enthalten (z.B. Vita Toothguide 3D-Master).

In der vorliegenden Untersuchung wurden diese Zähne dem Muster B1 zugeordnet.

Um die möglichen Fehlerquellen zu minimieren, wurde die Farbbestimmung in einem fensterlosen Raum mit künstlicher Lichtquelle stets durch dieselbe Behandlerin und mit demselben Farbring durchgeführt.

### 6.2.2 Elektronische Farbbestimmung

Zur elektronischen Farbbestimmung kam das ShadeEye NCC, ein elektronisches dentales Farbmessgerät der Fa. SHOFU INC. (Kioto Japan), zur Anwendung. Dabei handelt es sich um ein berührendes Verfahren, bei dem der Messkopf dem Objekt aufliegt. Die Messung sollte im zervikalen Drittel des Zahnes erfolgen, da dieser Bereich die größte labiolinguale Dimension aufweist und somit ein Durchstrahlen des Lichtes reduziert wird (YAMAMOTO 1998).

Der große Nachteil dieses Messverfahrens in der Zahnfarbbestimmung ist das kleine Messfeld, welches nur wenige Quadratmillimeter umfasst, während der Betrachter bei der visuellen Bewertung den Zahn als Ganzes einschätzt, zumal die Farbe eines Zahnes nicht einheitlich ist.

Daraus resultiert eine schlechte Übereinstimmung der Ergebnisse zwischen der visuellen und elektronischen Farbbestimmung. In einer entsprechenden Untersuchung stellte YAMAMOTO (1998) fest, dass „eine Übereinstimmung zum Sinneseindruck nicht herstellbar ist“.

Außerdem kann es sich als schwierig erweisen, zu jeder Messung genau dieselbe Messstelle aufzufinden, was Messfehler zur Folge haben kann.

LEIBROCK et al. (1995) fanden, dass bei der elektronischen Farbbestimmung ohne Justierhilfe eine Streuung der Werte im wahrnehmbaren Bereich liegen kann. Selbst eine Neigung von  $4^\circ$  zur Oberfläche eines planen Messobjektes führe nach Erfahrung der Autoren schon zu Messfehlern.

Einige Autoren empfehlen daher zu Recht, bei berührenden Messverfahren Justierhilfen einzusetzen (LEIBROCK et al. 1995, NAKAMURA et al. 2001, ROSENSTIEL et al. 1991).

In Vorbereitung auf die Untersuchung wurden auf Grund dessen für jeden Probanden individuelle Schienen im Tiefziehverfahren angefertigt, um bei der elektronischen Farbbestimmung zuverlässig dasselbe Areal zu jeder Messung heranzuziehen.

Als großer Vorteil dieses Messverfahrens ist die Unabhängigkeit von den Umgebungsbedingungen zu sehen.

Nach LEIBROCK et al. (1995) beeinflussten lediglich extreme Lichtverhältnisse der Umgebung wie Dunkelheit oder Rotlicht die Messergebnisse.

### 6.3 Ergebnisse

Die aufhellende Wirkung externer Bleichverfahren ist durch zahlreiche In-vitro- und In-vivo-Studien dokumentiert. Der Grad der Aufhellung scheint von der Art der Therapie sowie von der Konzentration und Anwendungsdauer der Bleichsubstanzen abhängig zu sein (ROSENSTIEL et al. 1991, HAYWOOD et al. 1994, LEONARD et al. 1998, MATIS et al. 1998, SULIEMAN et al. 2003, GERLACH et al. 2004b, AUSCHILL et al. 2005, TSUBARA und YAMAGUCHI 2005).

Viele Autoren publizierten, dass die Aufhellung bei den verschiedenen Bleichtherapien mit höheren L\*-Werten, also Zunahme des Weißanteils und mit geringeren b\*-Werten, also einer Verringerung des Gelbanteils, einherging. Die a\*-Werte sollten nur gering bis nicht signifikant beeinflusst worden sein (ROSENSTIEL et al. 1991, NAKAMURA et al. 1993, 2001, GERLACH et al. 2004b).

#### 6.3.1 Veränderung der Farbwerte L\*

Vergleichbar mit Ergebnissen vieler vorangegangener Studien zu verschiedenen Bleichtherapien führten alle vier Produkte zu einer messbaren Aufhellung der Zähne.

Auffällig ist die signifikant bessere Bleichwirkung durch *blend-a-med Whitestrips*.

Durch verschiedene Autoren (FERRARI et al. 2004, GERLACH et al. 2004a und GERLACH und BARKER 2003) wurde eine konzentrationsabhängige (1,8%, 3,3%, 5,3%, 6%, 10% HP) signifikant aufhellende Wirkung von Whitestrips<sup>®1</sup> über Anwendungszeiträume von 7 bis 28 Tagen beschrieben.

In der vorliegenden Studie wurden diese Ergebnisse bestätigt.

Der L\*-Wert erhöhte sich hier bei *blend-a-med Whitestrips* in der ersten Woche der Therapie signifikant ( $p < 0,001$ , Wilcoxon-Test), in der zweiten Woche war jedoch keine Veränderung mehr messbar.

Auch bei den Nachuntersuchungen wurden die bereits publizierten Ergebnisse durch die vorliegende Untersuchung bestätigt.

Hier war nach vier Monaten im Mittel noch ein um  $1,92 \pm 0,96$  Punkte höherer L\*-Wert feststellbar, der damit bis zur Nachuntersuchung signifikant höher als zur Eingangsuntersuchung war ( $p < 0,001$ ). Ein Rezidiv war somit bis dahin nicht feststellbar.

---

<sup>1</sup> The Proctor & Gamble Company, Cincinnati, OH, USA.

Bei einer Reevaluation 6 Monate nach Zahnaufhellung durch Whitestrips (5,6% HP, 14 Tage, zweimal täglich 30 Minuten) fanden GERLACH et al. (2002) ein geringfügiges Rezidiv. Initial wurde im Mittel eine Zunahme der Helligkeit  $L^*$  um  $1,67 \pm 0,185$  Punkte gemessen. Sechs Monate nach Ende der Anwendung war der mittlere  $L^*$ -Wert noch signifikant um  $1,48 \pm 0,203$  Punkte höher als vor der Behandlung.

GERLACH und BARKER (2003) verglichen zwei in der vorliegenden Studie verwendete Bleichprodukte. Sie untersuchten die Wirkung von 6%igen Whitestrips und Colgate Simply White über einen Zeitraum von drei Wochen und beobachteten signifikant höhere  $L^*$ -Werte nach Anwendung von Whitestrips als bei dem Bleichgel. Bei der Zunahme der  $L^*$ -Mittelwerte standen  $0,27 \pm 0,096$  Punkte bei dem Gel  $2,38 \pm 0,257$  Punkten bei den Whitestrips gegenüber. Die Autoren stellten somit fest, dass sich der  $L^*$ -Wert bei *Whitestrips* signifikant mehr erhöht hatte als bei dem Bleichgel.

Bei der hier vorliegenden Untersuchung führte die Behandlung mit *Colgate Simply White* nach einer Woche zu einer Zunahme des  $L^*$ -Wertes von  $1,00 \pm 1,09$  Punkten.

Wenngleich die Farbwertveränderung signifikant war ( $p < 0,001$ ; Wilcoxon-Test), bleibt doch festzustellen, dass der Mittelwert der Erhöhung bei *blend-a-med Whitestrips*  $2,19 \pm 2,77$  Punkte betrug. Allerdings wurde auch beobachtet, dass sich der  $L^*$ -Wert in der zweiten Woche bei den *Whitestrips* nicht mehr signifikant veränderte. Bei *Colgate Simply White* hingegen nahm der Wert in der zweiten Woche noch signifikant zu ( $p < 0,01$ ; Wilcoxon-Test), ohne allerdings die  $L^*$ -Werte von *blend-a-med Whitestrips* zu erreichen.

GERLACH et al. hingegen fanden in klinischen Studien weder 2003 noch 2004(b) signifikant hellere Zähne nach Gebrauch von Colgate® Simply White™.

Die beiden genannten Untersuchungen unterschieden sich von der vorliegenden Studie dadurch, dass bei GERLACH et al. (2003,2004b) keine professionelle Zahnreinigung bei ihren Probanden durchgeführt wurde und die Teilnehmer während der Bleichtherapie eine extra weiche Zahnbürste verwendeten. Ob dies jedoch die Unterschiede erklärt, kann nicht abschließend gesagt werden.

Die Produkte *el-ce med Easy White* und *Perlweiss Bleaching Weiss* unterschieden sich in der vorliegenden Untersuchung bei der Veränderung der  $L^*$ -Werte nicht signifikant voneinander und nicht von *Colgate Simply White*. Jedoch unterschieden sich alle drei Produkte signifikant von *blend-a-med Whitestrips*.

Da sich in der Fachliteratur keine weiteren Untersuchungen zu den beiden Produkten *Perlweiss Bleaching Weiss* und *el-ce med Easy White* finden, können diese Werte nicht kritisch diskutiert werden.

Auffällig war eine geringfügige, aber signifikante Zunahme des L\*-Wertes nach Ende der Therapie mit *Perlweiss Bleaching Weiss*. Über die Ursachen kann hier nur spekuliert werden. Möglicherweise war ein Nachwirken von Bleichsubstanzen, die nach Ende der Behandlung temporär im Zahn verblieben sein könnten, für die nachhaltige Wirkung verantwortlich.

### 6.3.2 Veränderung der Farbwerte a\*

Viele Autoren publizierten, dass im Zuge einer Bleichtherapie die a\*-Werte nur gering bis nicht signifikant beeinflusst worden sein sollen (ROSENSTIEL et al. 1991, NAKAMURA et al. 1993, 2001, GERLACH et al. 2004b).

In der vorliegenden Studie wurde bei allen verwendeten Produkten eine signifikante Reduktion der a\*-Werte festgestellt.

Es zeigte sich, dass auch bei der Reduktion des Rotanteils a\* *blend-a-med Whitestrips* in dieser Untersuchung nach einer Woche den anderen drei Produkten *Colgate Simply White*, *el-ce med Easy White* und *Perlweiss Bleaching Weiss* signifikant ( $p < 0,001$ ; Wilcoxon-Test) überlegen war ( $0,54 \pm 0,35$  vs.  $0,18 \pm 0,25$  /  $0,13 \pm 0,22$  /  $0,18 \pm 0,24$  Punkte).

Eine Untersuchung von FERRARI et al. (2004) zeigte bei der Anwendung von Whitestrips der Konzentration 5,6% Wasserstoffperoxid mit einer signifikanten Abnahme des Rotwertes a\* um  $0,64 \pm 0,103$  Punkte nach einer Woche ähnliche Resultate.

Bei dem Vergleich der Produkte *blend-a-med Whitestrips* und *Colgate Simply White* durch GERLACH und BARKER (2003) hatte sich bei *Colgate Simply White* nach drei Wochen der Wert um  $0,41 \pm 0,055$  reduziert und lag damit ebenfalls signifikant unter dem Wert von *blend-a-med Whitestrips* ( $1,34 \pm 0,106$  Punkte) nach zwei Wochen.

### 6.3.3 Veränderung der Farbwerte b\*

Allgemein wird davon ausgegangen, dass die verschiedenen Bleichtherapien mit einer Reduzierung der b\*-Werte, also einer Verringerung des Gelbanteils, einhergehen (ROSENSTIEL et al. 1991, NAKAMURA et al. 1993, 2001, GERLACH et al. 2004b).

So beobachteten FERRARI et al. (2004) nach einer Woche eine signifikante Abnahme des Gelbwertes b\* um  $1,99 \pm 0,24$  Punkte nach Anwendung von Whitestrips der Konzentration 5,6% Wasserstoffperoxid.

Zu ähnlichen Resultaten führte die hier vorliegende Untersuchung.

Wie schon bei den L\*-und a\*-Werten wurde auch bei der Reduktion der b\*-Werte die Überlegenheit von *blend-a-med Whitestrips* deutlich.

Allerdings waren bei diesem Farbparameter die Unterschiede zwischen den einzelnen Produkten besonders gravierend. Während sich bei *blend-a-med Whitestrips* der b\*-Wert um  $2,64 \pm 1,74$  Punkte nach einer Woche signifikant ( $p < 0,001$ , Wilcoxon-Test) reduzierte, waren bei *Perlweiss Bleaching Weiss* mit  $0,25 \pm 0,58$  Punkten, bei *Colgate Simply White* mit  $0,17 \pm 0,64$  Punkten und bei *el-ce med Easy White* mit  $0,07 \pm 0,69$  Punkten nach einer Woche Behandlung die b\*-Werte im Mittel nicht signifikant unterschiedlich im Vergleich zu den Werten vor Beginn der Therapie.

Von den drei letztgenannten Produkten wurde nur bei dem Produkt *Colgate Simply White* nach der zweiten Woche eine signifikante Veränderung des b\*-Wertes beobachtet.

Bei der vergleichenden Untersuchung von GERLACH und BARKER (2003) zwischen *blend-a-med Whitestrips* und *Colgate Simply White* fanden diese ebenso deutliche Unterschiede.

Obwohl die Farbwertveränderungen auch bei *Colgate Simply White* signifikant waren, bleibt doch festzustellen, dass sich dort der b\*-Wert bei Whitestrips signifikant mehr reduziert hatte als bei dem Bleichgel.

In den vier Monaten nach der Therapie war im Mittel in der vorliegenden Untersuchung auch für die b\*-Werte keine signifikante Veränderung, also kein Rezidiv für *blend-a-med Whitestrips* feststellbar.

GERLACH et al. (2002) fanden sechs Monate nach einer Bleichtherapie mit *blend-a-med Whitestrips* nur ein geringes Rezidiv im Vergleich zur Abschlussuntersuchung ( $1,47 \pm 0,127$  vs.  $2,00 \pm 0,126$  Punkte).

#### 6.3.4 Bestimmung der Zahnfarbe nach dem Vita-Farbring und der elektronisch ermittelte Wert $\Delta E^*$

Die Therapie mit den vier verschiedenen Bleichprodukten führte im Mittel zu einer wahrnehmbaren Aufhellung der Zähne in allen vier Produktgruppen.

Nach einer einwöchigen Anwendung von *blend-a-med Whitestrips* waren die Zähne der Probandengruppe im Mittel um  $2,6 \pm 1,28$  Farbwerte der Vitaskala heller, bei der *Colgate Simply White*- und *Perlweiss Bleaching Weiss*-Gruppe waren es je  $1,23 \pm 0,80/1,22$  Nuancen. Die geringste mittlere wahrnehmbare Aufhellung mit  $0,78 \pm 0,85$  Punkten resultierte aus der Anwendung von *el-ce med Easy White*.

Die Wirksamkeit von *Colgate Simply White* untersuchten auch GAMBARINI et al. (2003, 2004). Sie fanden im Mittel eine signifikante Aufhellung um bis zu 4,48 Farbnuancen der Vita-Farbskala in einer klinischen Studie nach zwei Wochen.

NATHOO et al. (2002) bestätigten die Wirksamkeit dieses Produktes ( $2,71 \pm 1,03$  Farbnuancen heller,  $p < 0,05$ ).

In der vorliegenden Untersuchung führte die Anwendung von *Colgate Simply White* im Mittel zu einer signifikanten Aufhellung von  $2,28 \pm 1,24$  Farbwerten auf der Vitaskala nach zwei Wochen.

Allerdings können verschiedene Untersuchungen, auch wenn sie sich auf das gleiche Produkt beziehen, nicht völlig gleichgesetzt werden, wenn ihnen eine individuelle Farbbestimmung mittels Farbmustern zugrunde liegt. Wie Untersuchungen von dentalen Farbringen belegten, gab es gravierende Unterschiede bei Farbmusterzähnen derselben Farbe. Das betraf im gleichen Maße Vita<sup>1</sup>, -Bident<sup>2</sup> und Chromascope<sup>3</sup>-Farbringe. So wiesen die Farbabstände der nach Helligkeit sortierten Vita-Musterzähne beispielsweise über eine Distanz von je vier Musterzähnen einmal einen  $\Delta L^*$ -Wert von 3,6 (von A3 bis B4) und ein anderes Mal einen  $\Delta L^*$ -Wert von 0,6 Punkten auf (von A3 bis A2) (KAPPERT und BREGLER 1992, SETZ 1992, BROWNING 2003).

Dazu kommt, dass sich bei verschiedenen Untersuchungen auch die Bedingungen unterschieden, unter denen die Farbbestimmung erfolgte. Dies betraf gleichermaßen die Untersucher selbst als auch die Umgebungsbedingungen, da eine Standardisierung in der visuellen Zahnfarbbestimmung praktisch unmöglich ist (YAMAMOTO 1998).

---

<sup>1</sup> VitaZahnfabrik, Bad Säckingen

<sup>2</sup> De Tray Dentsplay, Dreieich

<sup>3</sup> Ivoclar, Schaan, Liechtenstein

Trotz der numerisch unterschiedlichen Ergebnisse wurde jedoch deutlich, dass die Anwendung dieses Produktes zu einer wahrnehmbaren Aufhellung der Zähne führte.

In der vorliegenden Untersuchung wurde neben der visuellen Farbbestimmung eine objektive Farbmessung durchgeführt.

Da hier ein berührendes Messverfahren mit dem ShadeEye der Fa. SHOFU INC. (Japan) zur Anwendung kam, war eine Unabhängigkeit von den Umgebungsbedingungen gewährleistet. Obwohl dabei nur ein wenige Quadratmillimeter großes Areal zur Bewertung gelangte, korrelierten doch die Resultate mit den Ergebnissen der visuellen Farbbestimmung.

Nach SEGHI et al. (1989) und KAPPERT und BREGLER (1992) kann ein durchschnittlich normales Auge im LAB-System Farbunterschiede ( $\Delta E^*$ ) ab dem Betrag 1 unterscheiden.

Diese Feststellung deckt sich mit den Erkenntnissen der vorliegenden Untersuchung. Die Anwendung aller vier Produkte führte nach einer Woche zu  $\Delta E^*$ -Werten, die über 1,0 lagen (siehe Tab. 10).

Obwohl berührenden elektronischen Farbmessverfahren eine schlechte Übereinstimmung mit der visuellen Bewertung nachgesagt wird (YAMAMOTO 1998), ließ sich sowohl aus den Resultaten der visuellen Farbbestimmung als auch aus den Werten der elektronischen Farbbestimmung und den daraus abgeleiteten Werten  $\Delta E^*$ , über die die Farbabstände im dreidimensionalen Farbraum definiert werden, eine Rangfolge in der Wirksamkeit ablesen.

Sowohl die visuelle Farbbestimmung als auch die  $\Delta E^*$ -Werte wiesen *blend-a-med Whitestrips* mit Abstand als das wirksamste Produkt aus. Es folgten nach den Mittelwerten die Produkte *Colgate Simply White*, *Perlweiss Bleaching Weiss* und *el-ce med Easy White*, bei denen die Unterschiede nicht signifikant waren.

### 6.3.5 Nebenwirkungen

Während der Anwendung von Bleichprodukten kann es zu unerwünschten Nebenwirkungen wie Gingivareizungen und Hypersensibilitäten kommen. Verantwortlich für die Hypersensibilitäten ist das Wasserstoffperoxid, welches nach 15 Minuten Einwirkzeit von extern in Abhängigkeit von der Konzentration in das Pulpenkavum vordringt, wie BOWLES und UGWUNERI (1987) *in vitro* nachwiesen.

Ein daraus resultierendes Auftreten konzentrationsabhängiger Empfindlichkeiten beobachteten GERLACH und SAGEL (2004) bei einer vergleichenden Untersuchung von Whitestrips in den Konzentrationen 6% und 14%. Während in der Kontrollgruppe (6% H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) 26% der Teilnehmer von Überempfindlichkeitsreaktionen der Zähne berichteten, waren es in der experimentellen Gruppe (14% H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) 42% der Teilnehmer.

Allerdings zeigte sich in der vorliegenden Untersuchung, dass nicht allein die Konzentration, sondern auch die Kontaktzeit mit dem Wirkstoff eine ausschlaggebende Rolle bei der Entstehung von Hypersensibilitäten spielen könnte. Durch die Verwendung von Barrieren in Form von Streifen kann das Bleichgel länger in Kontakt mit dem Zahn bleiben als bei Gelen, die ungeschützt der Verdünnung und Elimination durch den Speichel ausgesetzt sind. Dies belegen die Angaben der Probanden der vorliegenden Untersuchung, von denen 40% der Anwender von *blend-a-med Whitestrips* starke Empfindlichkeiten angeben, aber nur 4% aus der Gruppe, die *el-ce med Easy White* benutzt hatten, obwohl dessen Konzentration mit 7-8% H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> über der von Whitestrips mit 6% H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> lag. Auch das Produkt *Colgate Simply White* mit 5,9% H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> führte nur bei 4% der Anwender zu starken Hypersensibilitäten. Mit Blick auf das vorangegangene Kapitel erscheint es folgerichtig, dass *Perlweiss Bleaching Weiss* mit einer realen H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-Konzentration von 4% bei keinem Anwender starke und nur bei zwei Probanden geringe Empfindlichkeiten verursachte.

Probanden anderer Untersuchungen berichteten nach Bleichtherapien von initialen Gingivareizungen, die allerdings nach drei Tagen nachließen (HAYWOOD und HEYMANN 1989, MATIS et al. 1998, COLLINS et al. 2004).

Auch in der vorliegenden Untersuchung wurden diese Nebenwirkungen beschrieben. Insgesamt kann jedoch festgestellt werden, dass die überwiegende Mehrheit der Studienteilnehmer keine Gingivareizungen beobachtet hatten.

Bemerkenswerterweise gaben von den Probanden, die das Produkt mit der höchsten Konzentration (*el-ce med Easy White*, 7-8% H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) angewendet hatten, die wenigsten Teilnehmer (5 Personen) Gingivareizungen zu Protokoll. In der *Colgate Simply White* – Gruppe waren es vier und in der *Perlweiss Bleaching Weiss*-Gruppe fünf Teilnehmer, die ein Auftreten dieser Nebenwirkung zu Protokoll gaben. Die meisten Gingivairritationen wurden allerdings auch hier von den Anwendern von *blend-a-med Whitestrips* mit sechs Teilnehmern beschrieben.

### 6.3.6 Patientenakzeptanz

In der Literatur wird eine gute Akzeptanz den frei verkäuflichen Bleichprodukten gegenüber beschrieben (GERLACH und BARKER 2003).

Auch in der vorliegenden Untersuchung wurden die Empfindungen der Probanden ihren Produkten gegenüber tendenziell positiv bewertet. 84% der Anwender von *el-ce med Easy White*, 80% von *Colgate Simply White*, 76% von *Perlweiss Bleaching Weiss* und 72% der Anwender von *blend-a-med Whitestrips* stufen ihre Empfindungen als neutral und positiv ein.

Nur zwei der *blend-a-med Whitestrips*-Anwender gaben eine völlige Abneigung zu Protokoll.

Die persönliche Einschätzung der Probanden darüber, ob die Bleichtherapie ihre Zähne weißer gemacht hätte, war bei der Gruppe, die *blend-a-med Whitestrips* angewendet hatte, besonders eindeutig. Hier stimmten 60% der Anwender dieser Aussage völlig und 40% zumindest teilweise zu. So ist nicht verwunderlich, dass von den 25 Probanden dieser Gruppe 19 (76%) das Produkt wieder anwenden würden. Dass diese Auffassung nicht von allen geteilt wurde, ist sicher eine Folge dessen, dass die Therapie mit diesem Produkt bei 40% der Gruppe mit starken Hypersensibilitäten vergesellschaftet war.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass es bei Anwendung des Bleichproduktes *blend-a-med Whitestrips*, wie in der Literatur beschrieben, zu einer mess- und wahrnehmbaren deutlichen Aufhellung kam, die sich über einen Zeitraum von vier Monaten als stabil erwies.

Obwohl die Aussagen zu dem Produkt *Colgate Simply White* durch verschiedene Autoren widersprüchlich sind, war die Farbveränderung durch dieses Produkt in der vorliegenden Untersuchung ebenfalls sowohl mess- als auch wahrnehmbar.

Während sich bei dem Bleichmittel *blend-a-med Whitestrips* der Aufhellungseffekt aus der deutlichen signifikanten Veränderung der L<sup>\*</sup>-, a<sup>\*</sup>- und b<sup>\*</sup>-Werte ergab, wurden die b<sup>\*</sup>-Werte durch *Colgate Simply White* nur wenig beeinflusst.

Außerdem resultierte die Aufhellung bei den Produkten *el-ce med Easy White* und *Perlweiss Bleaching Weiss* lediglich aus einer signifikanten Zunahme der L<sup>\*</sup>- und Abnahme der a<sup>\*</sup>-Werte. Die b<sup>\*</sup>-Werte wurden hier während der Therapie nicht signifikant verändert.

Diese Ergebnisse konnten nicht kritisch diskutiert werden, da vergleichbare Studien zu diesen beiden Produkten nicht verfügbar waren.

Das Produkt *blend-a-med Whitestrips* war, wie in vergleichbaren Untersuchungen auch, den anderen Produkten in der Bleichwirkung überlegen.

Allerdings war die eindeutige Aufhellung, anders als in anderen Untersuchungen, wo nur von leichten Nebenwirkungen berichtet wurde, mit starken Hypersensibilitäten vergesellschaftet, die teilweise eine Unterbrechung der Therapie nach sich zogen, wie hier 40% der Anwender zu Protokoll gaben.

*Von den eingangs aufgestellten Arbeitshypothesen lassen sich folgende bestätigen:*

- Alle zu untersuchenden Bleichprodukte führten zu einer mess- und wahrnehmbaren Aufhellung der Zähne.
- Die Aufhellung ging mit abnehmenden  $b^*$ - und/oder zunehmenden  $L^*$ -Werten einher.
- Die Wirkung des Produktes *blend-a-med Whitestrips* war der der anderen Produkte signifikant überlegen.
- Rezidive wurden nach vier Monaten bei den  $L^*a^*b^*$ -Werten nicht beobachtet.
- Die Akzeptanz der Produkte hängt vor allem von ihrer aufhellenden Wirkung ab.

*Die anderen Arbeitshypothesen ließen sich nicht verifizieren:*

- Die  $a^*$ -Werte wurden durch alle vier verwendeten Produkte signifikant beeinflusst und waren noch zur Nachuntersuchung nach vier Monaten signifikant niedriger als zur Eingangsuntersuchung ( $p < 0,001$ , Wilcoxon-Test).
- Obwohl die Konzentration und Anwendungsdauer der drei Produkte *Colgate Simply White*, *el-ce med Easy White* und *Perlweiss Bleaching Weiss* voneinander abweichend waren, wurden keine signifikanten Unterschiede in der aufhellenden Wirkung festgestellt.
- Bei der visuellen Farbbestimmung wurde bei den Produkten *blend-a-med Whitestrips*, *Colgate Simply White* und *el-ce med Easy White* ein signifikantes Rezidiv festgestellt. Allerdings waren die Werte zur Nachuntersuchung noch signifikant unterschiedlich im Vergleich zur Eingangsuntersuchung.

## 7. Schlussfolgerungen

- Die Behandlung mit den vier untersuchten Produkten *blend-a-med Whitestrips*, *Colgate Simply White*, *el-ce med Easy White* und *Perlweiss Bleaching Weiss* führte in allen Gruppen zu einer mess- und wahrnehmbaren Aufhellung der Zähne.
- Das Produkt *blend-a-med Whitestrips* war den anderen drei Produkten bei allen Untersuchungsparametern und in jedem Untersuchungsintervall in der aufhellenden Wirkung überlegen.
- Die Wirkung der Produkte *Colgate Simply White*, *el-ce med Easy White* und *Perlweiss Bleaching Weiss* unterschied sich nicht signifikant voneinander.
- Ein signifikanter Rückgang der mittleren  $L^*a^*b^*$ -Werte wurde vier Monate nach Ende der Bleichtherapie im Verhältnis zur Abschlussuntersuchung in keiner Produktgruppe festgestellt.
- Bei der visuellen Farbbestimmung hingegen wurde bei den Produkten *blend-a-med Whitestrips*, *Colgate Simply White* und *el-ce med Easy White* eine signifikante Zunahme des mittleren Vita-Farbwertes – und somit ein Rezidiv – beobachtet.
- Die mittleren Vita-Farbwerte waren zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung in allen Probandengruppen signifikant niedriger als vor Beginn der Behandlung.
- Eine wirksame Aufhellung ging mit Hypersensibilitäten einher, die jedoch vorübergehender Natur waren.
- Die Akzeptanz der Produkte hing vor allem von der aufhellenden Wirkung ab und wurde durch Nebenwirkungen, wie Hypersensibilitäten, nur gering beeinflusst.

## 8. Zusammenfassung

Ziel der vorliegenden klinischen Untersuchung war, vier frei verkäufliche Bleichprodukte für vitale Zähne auf ihre Wirksamkeit und Akzeptanz hin zu vergleichen.

Untersucht wurden die Produkte *blend-a-med Whitestrips*<sup>1</sup>, *Colgate Simply White*<sup>2</sup>, *el-ce med Easy White*<sup>3</sup> und *Perlweiss Bleaching Weiss*<sup>4</sup>.

Bei *blend-a-med Whitestrips* handelt es sich um Trägerfolien, auf die 6%iges Wasserstoffperoxid (HP) aufgebracht ist. Die Streifen waren zwei Wochen lang zweimal täglich für 30 Minuten auf die Frontzähne des Ober- und Unterkiefers zu applizieren.

Die Produkte *Colgate Simply White* (5,9% HP) und *el-ce med Easy White* (7-8% HP) waren als Gele mittels Pinsel aus kleinen Flaschen auf die Frontzähne im Ober- und Unterkiefer für zwei Wochen und *Perlweiss Bleaching Weiss* (10,5-11,5% Carbamidperoxid) für eine Woche zweimal täglich aufzutragen.

An der Untersuchung beteiligten sich 100 allgemein- und zahnmedizinisch gesunde Probanden im Alter von 17 bis 67 Jahren, von denen 55% weiblich und 45% männlich waren. Die Zahnfarbe der Probanden war im Mittel A2 oder dunkler.

Ausschlusskriterien waren schwere Allgemeinerkrankungen, Alkoholismus, starkes Rauchen, bekannte Überempfindlichkeit gegen in der Studie verwendete Substanzen, Schwangerschaft und Stillzeit, schwerwiegende orale Erkrankungen, kieferorthopädische Apparaturen, überempfindliche Zahnhäule, Schmelzrisse oder Schmelzsprünge und eine vorab durchgeführte Bleichtherapie.

Es wurden vier Gruppen mit je 25 Probanden gebildet, die jeweils eines der untersuchten Produkte verwendeten. Die Verteilung der Produkte erfolgte untersucherblind.

Drei Wochen vor Beginn der Untersuchung wurde bei allen Probanden eine professionelle Zahnreinigung durchgeführt.

Bei jedem Probanden wurde die Zahnfarbe zu jeder Untersuchung visuell mittels Vita-Lumin-Farbskala (Vita Zahnfabrik, Bad Säckingen, Deutschland) und elektronisch unter Anwendung des portablen Farbmessgerätes ShadeEye NCC (Fa. SHOFU INC., Kioto, Japan) bestimmt. Festgestellt wurden dabei jeweils die L\*a\*b\*-Werte nach dem CIELAB-System (Commission Internationale de l'Eclairage).

---

<sup>1</sup> The Proctor & Gamble Company, Cincinnati, OH, USA.

<sup>2</sup> Colgate-Palmolive Company, New York, USA.

<sup>3</sup> Dental-Kosmetik GmbH & Co. Kg, Dresden, Deutschland.

<sup>4</sup> Church & Dwight UK Ltd., Folkestone, England.

Um reproduzierbare Ergebnisse zu erreichen und Messfehler zu minimieren, kamen bei jedem Probanden individuelle Schienen als Justierhilfe zum Einsatz.

Die Eingangsuntersuchung (U1) fand vor der ersten Anwendung des Bleichmittels statt. Nach einer Woche Anwendung wurde die Zwischenuntersuchung (U2) und nach zwei Wochen die Abschlussuntersuchung (U3) durchgeführt. Zur Feststellung von Farbstabilität oder Rezidiven wurden die Probanden vier Monate nach Ende der Bleichtherapie nachuntersucht (U4). Die Werte der U3 wurden für die *Perlweiss Bleaching Weiss* – Gruppe auf Grund der nur einwöchigen Behandlung vernachlässigt.

Die Daten wurden mit dem Statistikprogramm SPSS 12.0G for Windows erfasst und ausgewertet. Die Auswertung erfolgte mit den nichtparametrischen Kruskal-Wallis-, Mann-Whitney-U- und Wilcoxon-Tests.

Die Verarbeitung ergab, dass die Anwendung aller vier Produkte im Mittel in einer messbaren und visuell wahrnehmbaren Aufhellung der Zähne resultierte.

Jedes Produkt führte mittelwertig zu einer signifikanten Zunahme des L\*-Wertes (Helligkeit).

Die a\*-Werte (Rotanteil) wurden im Mittel durch alle Produkte signifikant reduziert.

Die b\*-Werte (Gelbanteil) wurden durch die Produkte *blend-a-med Whitestrips* und *Colgate Simply White* bis zum Ende der Behandlung signifikant reduziert. Die Anwendung von *el-ce med Easy White* und *Perlweiss Bleaching Weiss* führte während der Therapie nicht zu einer Reduktion der mittleren b\*-Werte.

Insgesamt erwies sich das Produkt *blend-a-med Whitestrips* den drei anderen Bleichmitteln bezüglich aller untersuchten Parameter als signifikant überlegen. Die Unterschiede zwischen den Produkten *Colgate Simply White*, *el-ce med Easy White* und *Perlweiss Bleaching Weiss* waren nicht signifikant.

Zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung nach vier Monaten wurde bei den Produkten *blend-a-med Whitestrips*, *Colgate Simply White* und *el-ce med Easy White* ein signifikantes Rezidiv bei der visuellen Farbestimmung beobachtet.

Hinsichtlich der L\*-, a\*- und b\*-Werte war für keine Gruppe ein signifikantes Rezidiv feststellbar.

Nach der Behandlung gaben 68% der Anwender von *blend-a-med Whitestrips* an, dass sie Hypersensibilitäten festgestellt hatten. Bei den Probanden der *Colgate Simply White*- und *Perlweiss Bleaching Weiss*-Gruppen waren es 8% und 12% der Mitglieder der *el-ce med Easy White*-Gruppe.

Die Akzeptanz der Produkte hing aber vor allem von der aufhellenden Wirkung ab.

## 9. Literaturverzeichnis

1. **Addy M, Moran J:**  
Extrinsic tooth discoloration by metals and chlorhexidine I. Surface protein denaturation or dietary precipitation?  
Br Dent J **1985a**:159:281-5.
2. **Addy M, Moran J:**  
Extrinsic tooth discoloration by metals and chlorhexidine II. Clinical staining produced by chlorhexidine, iron and tea.  
Br Dent J **1985b**:159:331-4.
3. **Almas K, Al-Harbi M, Al-Gunaim M:**  
The effect of a 10% carbamide peroxide home bleaching system on the gingival health.  
J Contemp Dent Pract **2003**:Febr:32-41.
4. **Al-Qunaian T:**  
The effect of whitening agents on caries susceptibility of human enamel.  
Oper Dent **2005**:30(2):265-270.
5. **Arcari GM, Baratieri LN, Maia HP, de Freitas SFT:**  
Influence of the duration of treatment using a 10% carbamide peroxide bleaching gel on dentin surface microhardness: an in situ study.  
Quintessence Int **2005**:36(1):15-24.
6. **Arens DE, Rich JJ, Healey HJ:**  
A practical method of bleaching tetracycline-stained teeth.  
Oral Surg Oral Med Oral Pathol **1972**:34(5):812-817.
7. **Arwill T, Myrberg N, Söremark R:**  
Penetration of radioactive isotopes through enamel and dentine.  
Odontol Revy **1969**:20(1):47-54.
8. **Attin T:**  
Sicherheit und Anwendung von carbamidperoxidhaltigen Gelen bei Bleichtherapien.  
Dtsch Zahnärztl Z **1998**:53:11-16.
9. **Attin T, Kielbassa AM:**  
Die Bleichbehandlung – ein fester Bestandteil ästhetischer Zahnheilkunde.  
zm **1995**:85:Nr. 22:54-61.
10. **Attin T, Paqué F, Ajam F, Lennon M:**  
Review of the current status of tooth whitening with the walking bleach technique.  
Int Endod J **2003**:36:313-329.
11. **Auschill TM, Hellwig E, Schmidale S, Sculean A, Arwieler NB:**  
Efficacy, side-effects and patient's acceptance of different bleaching techniques (OTC, in-office, at-home).  
Oper Dent **2005**:30(2):156-163.
12. **Bailey RW, Christen AG:**  
Bleaching of vital teeth stained with endemic dental fluorosis.  
Oral Surg Oral Med Oral Pathol **1968**:26:871-878.

13. **Barry BW, Meyer MC:**  
Viscoelastic and continuous shear properties of Carbopol gels.  
J Pharm Pharmacol **1974**:26 Suppl:129P-130P.
14. **Bartels H, Bartels R:**  
Physiologie – Lehrbuch und Atlas.  
5. Auflage, Verlag Urban & Schwarzenberg **1995**.
15. **Barthel KU:**  
Lab Model.  
www.f4.fhtw-berlin.de:19.06.2006.
16. **Basting RT, Rodrigues JA, Serra MC, Pimenta LAF:**  
Shear bond strength of enamel treated with seven carbamide peroxide bleaching agents.  
J Esthet Restor Dent **2004**:16:250-260.
17. **Benetti AR, Valera MC, Mancini MNG, Miranda CB, Balducci I:**  
In vitro penetration of bleaching agents into the pulp chamber.  
Int Endod J **2004**:37:120-124.
18. **Bentley CD, Leonard RH, Crawford JJ:**  
Effect of whitening agents containing carbamide peroxide on cariogenic bacteria.  
J Esthet Dent **2000**:12:33-37.
19. **Best D:**  
Hue, Value and Chroma – dental color terminology and the world of art.  
Trends Tech Contemp Dent Lab **1984**:1(5):31-35.
20. **Birckenbach L:**  
Die Untersuchungsmethoden des Wasserstoffperoxyds.  
Verlag von Ferdinand Enke Stuttgart **1909**:34,44.
21. **Bodden MK, Haywood VB:**  
Treatment of endemic fluorosis and tetracycline staining with macroabrasion and nightguard vital bleaching: a case report.  
Quintessence Int **2003**:34(2):87-91.
22. **Boveris A, Oshino N, Chance B:**  
The cellular production of hydrogen peroxide.  
Biochem J **1972**:128:617-630.
23. **Bowles WH, Burns H jr:**  
Catalase/Peroxidase activity in dental pulp.  
J Endod **1992**:18(11):527-529.
24. **Bowles WH, Ugwuneri Z:**  
Pulp chamber penetration by hydrogen peroxide following vital bleaching procedures.  
J Endod **1987**:13(8):375-376.
25. **Brown G:**  
Factors influencing successful bleaching of the discolored root-filled teeth.  
Oral Surg Oral Med Oral Pathol **1965**:20(2):238-244.
26. **Browning WD:**  
Use of shade guides for color measurement in tooth-bleaching studies.  
J Esthet Restor **2003**:S13-S20.

27. **Brunton PA, Ellwood R, Davies R:**  
A six-month study of two self-applied tooth whitening products containing carbamide peroxide.  
*Oper Dent* **2004**;29(6):623-626.
28. **Campos I, Briso ALF, Pimenta LAF, Ambrosano G:**  
Effects of bleaching with carbamide peroxide gels on microhardness of restorative material.  
*J Esthet Restor Dent* **2003**;15:175-183.
29. **Canay Ş, Çehreli MC:**  
The effect of current bleaching agents on the color of light-polymerized composites in vitro.  
*J Prosthet Dent* **2003**;89:474-478.
30. **Canay Ş, Çehreli MC, Bilgiç S:**  
In vitro evaluation of the effect of a current bleaching agent on the electrochemical corrosion of dental alloys.  
*J Oral Dent* **2002**;29:1014-1019.
31. **Certosimo A, Robertello F, Dishman M, Bogacki R:**  
The effect of bleaching agents on mercury release from spherical dental amalgam.  
*Gen Dent* **2003**;51(4):356-360.
32. **Çobankara FK, Ünlü N, Altinöz HC, Özer F:**  
Effect of home bleaching agents on the roughness and surface morphology of human enamel and dentin.  
*Int Dent J* **2004**;54:211-218.
33. **Collet AM, Palmieri M, Molinari B, Schwint AE, Itoiz ME:**  
Experimental study to test the potential tumor promotion effect of a tooth bleaching agent.  
*Acta Odontol Latinoam* **2001**;14(1-2):30-34.
34. **Collins LZ, Maggio B, Liebman J, Blanck M, Lefort S, Waterfield P, Littlewood D, Naeeni M, Schäfer F:**  
Clinical evaluation of a novel whitening gel, containing 6% hydrogen peroxide and a standard fluoride toothpaste.  
*J Dent* **2004**;32:13-17.
35. **Cooper JS, Bokmeyer TJ, Bowles WH:**  
Penetration of the pulp chamber by carbamide peroxide bleaching agents.  
*J Endod* **1992**;18(7):315-317.
36. **Croll TP:**  
Tooth bleaching for children and teens: a protocol and examples.  
*Quintessence Int* **1994**;25(12):811-817.
37. **Croll TP, Sasa IS:**  
Carbamide peroxide bleaching of teeth with dentinogenesis imperfecta discoloration: report of a case.  
*Quintessence Int.* **1995**;26(10):683-686

38. **Dahl JE, Becher R:**  
Acute toxicity of carbamide peroxide and a commercially available tooth-bleaching agent in rats.  
J Dent Res **1995**:74(2):710-714.
39. **Davies AK, Cundall RB, Dandiker Y, Slifkin MA:**  
Photo-oxidation of tetracyclin adsorbed on hydroxyapatite in relation to the light-induced staining of teeth.  
J Dent Res **1985**:64(6):936-939.
40. **Davis LG, Ashworth PD, Spriggs LS:**  
Psychological effects of aesthetic dental treatment.  
J Dent **1998**:26:547-554.
41. **Dayan D, Heifferman A, Gorski M, Begleiter A:**  
Tooth discoloration – extrinsic and intrinsic Factors.  
Quintessence Int **1983**:14(2):195-199.
42. **Dean HT:**  
Endemic fluorosis and its relation to dental caries.  
Public Health Rep **1938**:53:1443-1452.
43. **DIN 5033 Teil1 bis DIN 55929:**  
**Farbmittel 1**  
Pigmente, Füllstoffe, Farbstoffe.  
DIN-Taschenbuch 49.  
Beuth Verlag GmbH Berlin Köln **1992**.
44. **Dion K, Berscheid E, Walster E:**  
What is beautiful is good.  
J Pers Soc Psychol **1972**:24(3):285-290.
45. **Dunn JR:**  
Dentist-prescribed home bleaching: current status.  
Compend Contin Educ Dent **1998**:19(8):760-764.
46. **Dunn WJ, Murchison DF, Broome JC:**  
Esthetics:Patients' Perceptions of dental Attractiveness.  
J Prosthodont **1996**:5(3):166-171.
47. **Duschner H, Götz H, White DJ, Kozak KM, Zoladz JR:**  
Effects of hydrogen peroxide bleaching strip gels on dental restorative materials in vitro: surface microhardness and surface morphology.  
J Clin Dent **2004**:15(4):105-111.
48. **Elkhatib H, Nakajima M, Hiraishi N, Kitasako Y, Tagami J, Nomura S:**  
Surface pH and bond strength of a self-etching primer/adhesive system to intra-coronal dentin after application of hydrogen peroxide bleach with sodium perborate.  
Oper Dent **2003**:28(5):591-597.
49. **Falbe J, Regitz M:**  
Römpp Chemie-Lexikon.  
Georg Thieme Verlag.  
10. Auflage **1999**.

50. **Fallschlüssel GKH:**  
Die Lichtfarbe zahnärztlicher Leuchten.  
Dtsch Zahnärztl Z **1985**:40:416-428.
51. **Farrell S, Barker ML, Sagel PA, Gerlach RW:**  
Use of a physical barrier to improve efficacy of a paint-on-whitening gel:a seven-day randomized clinical trial.  
J Clin Dent **2006**:17:117-121.
52. **Feinman RA, Madray G, Yarborough D:**  
Chemical, optical, and physiologic mechanism of bleaching products: A review.  
Pract Periodontics Aesthet Dent **1991** Mar:3(2):32-36 .
53. **Ferrari M, Kugel G, Cagidiaco MC, Barker ML, Gerlach RW:**  
Clinical trial evaluating the peroxide concentration response of whitening strips over 28 days.  
Am J Dent **2004**:17(4):291-294.
54. **Fitch CP:**  
Etiology of the discoloration of teeth.  
Ddent Cosmos **1861**:3:133-136.
55. **Freitas PM, Turssi CP, Hara AT, Serra MC:**  
Dentin microhardness during and after whitening treatments.  
Quintessence Int **2004a**:35(5):411-417.
56. **Freitas PM, Turssi CP, Hara AT, Serra MC:**  
Monitoring of demineralized dentin microhardness throughout and after bleaching.  
Am J Dent **2004b**:17(5):342-346.
57. **Fugaro JO, Nordahl I, Fugaro OJ, Matis BA, Mjör IA:**  
Pulp reaction to vital bleaching.  
Oper Dent **2003**:29-4:363-368.
58. **Gambarini G, Testarelli L, Dolci G:**  
Clinical evaluation of a novel liquid tooth whitening gel.  
Am J Dent **2003**:16(3):147-151.
59. **Gambarini G, Testarelli L, de Luca M, Dolci G:**  
Efficacy and safety assessment of a new liquid tooth whitening gel containing 5,9% hydrogen peroxide.  
Am J Dent **2004**:17(2):75-79.
60. **Ganß C, Reinhardt K, Klimek J:**  
Der Einfluß einer Vitalbehandlung mit Carbamidperoxid auf die Entstehung künstlicher initialer Kariesläsionen und Schmelzerosionen.  
Dtsch Zahnärztl Z **1997**:52:597-599.
61. **Gerlach RW, Barker ML:**  
Clinical response of three direct-to-consumer whitening products; strips, paint-on gel, and dentifrice.  
Compend Contin Educ Dent **2003**:24(6):458-466.

62. **Gerlach RW, Barker ML, Tucker HL:**  
Clinical response of three whitening products having different peroxide delivery: comparison of tray, paint-on gel, and dentifrice.  
J Clin Dent **2004b**:15(4):112-117.
63. **Gerlach RW, Gibb RD, Sagel PA:**  
initial color change and color retention with a hydrogen peroxide bleaching strip.  
Am J Dent **2002**:15(1):3-7.
64. **Gerlach RW, Sagel PA:**  
Vital bleaching with a thin peroxide gel.  
JADA **2004**:135:98-100.
65. **Gerlach RW, Sagel PA, Barker ML, Karpinia KA, Magnusson I:**  
Placebo-controlled clinical trial evaluating a 10% hydrogen peroxide whitening strip.  
J Clin Dent **2004a**:15(4):118-122.
66. **Gerstner HB, Huff JE:**  
Clinical toxicology of mercury.  
J Toxicol Environ Health **1977**:2:491-526.
67. **Giniger M, MacDonald J, Ziemba S, Felix H:**  
The clinical performance of professionally dispensed bleaching gel with added amorphous calcium phosphate.  
JADA **2005**:136:383-392.
68. **Gökay O, Müjdeci A, Algin E:**  
Peroxide penetration into the pulp from whitening strips.  
J Endod **2004**:30(12):887-889.
69. **Gökay O, Müjdeci A, Algin E:**  
In vitro peroxide penetration into the pulp chamber from newer bleaching products.  
Int Endod J **2005**:35:516-520.
70. **Gökay O, Tunçbilek M, Ertan R:**  
Penetration of the pulp chamber by carbamide peroxide bleaching agents on teeth restored with a composite resin.  
J Oral Dent **2000**:27:428-431.
71. **Goldstein RE:**  
In-office bleaching:where we come from, were we are today.  
JADA **1997**:128(Suppl):11S-15S.
72. **Golenhofen K:**  
Physiologie Lehrbuch.  
Urban & Schwarzenberg **1997**.
73. **Gomez RS, de Castro Albuquerque R, Dutra RA, et al.:**  
Effects of a bleaching agent containing 35% carbamide peroxide on the immunolocalization of cyclin D and p16.  
J Oral Dent **2002**:29:906-909.
74. **Grososky A, Adkins S, Bastholm R, Meyer L, Krueger L, Meyer J, Torma P:**  
Tooth color : effect on judgments of attractiveness and age.  
Percept Mot Skills **2003**:96(1):43-48.

75. **Gründl M, Braun C, Marberger C, Scherber C:**  
Beautycheck – Ursachen und Folgen von Attraktivität.  
www.beautycheck.de
76. **Guan YH, Lath DL, Lilley TH, Willmot DR, Marlow I, Brook AH:**  
The measurement of tooth whiteness by image analysis and spectrophotometry: a comparison.  
J Oral Dent **2005**;32:7-15.
77. **Gürkan S, Bolay S, Alaçam R:**  
Antibacterial activity of 10% carbamide peroxide bleaching agents.  
J Endod **1996**;20(7):356-357.
78. **Hanks CT, Fat JC, Wataha JC, Corcoran JF:**  
Cytotoxicity and dentin permeability of carbamide peroxide and hydrogen peroxide vital bleaching materials, in vitro.  
J Dent Res **1993**;72(5):931-938.
79. **Hannig C, Zech R, Henze E, Dreier S, Attin T:**  
Peroxide release into saliva from five different home bleaching systems in vivo.  
Am J Dent **2005**;18:13-18.
80. **Haywood VB, Heymann HO:**  
Nightgard vital bleaching.  
Quintessence Int **1989**;20:173-176.
81. **Haywood VB, Heymann HO:**  
Nightguard vital bleaching: how safe is it?.  
Quintessenz Int **1991**;22:515-523.
82. **Haywood VB, Leonard RH:**  
Nightguard vital bleaching removes brown discoloration for 7 years: a case report.  
Quintessence Int **1998**;29(7):450-451.
83. **Haywood VB, Leonard RH, Nelson CF, Brunson WD:**  
Effectiveness, side effects and long-term status of nightguard vital bleaching.  
J Am Dent Assoc **1994**;125(9):1219-1226.
84. **Hellwig E, Klimek J, Attin T:**  
Einführung in die Zahnerhaltung.  
Verlag Urban und Fischer.  
2. Auflage **1999**.
85. **Herrmann M:**  
Veränderung der Zahnfarbe und –struktur bei Morbus hämolyticus neonatorum.  
ZWR **1965**;66(17):595-602.
86. **Hoffmann ME, Meneghini R:**  
Action of hydrogen peroxide on human fibroblast in culture.  
Photochem Photobiol **1979**;30:151-155.
87. **Hofmann E:**  
Medizinische Biochemie – systematisch.  
UNI-MED Verlag AG, Lorch/Württemberg Deutschland.  
1. Auflage, **1996**:296,396,500-501.

88. **Hofmann KA:**  
Anorganische Chemie.  
Friedr. Vieweg & Sohn Braunschweig.  
18. Auflage **1963**:81.
89. **Howell RA:**  
Bleaching discoloured root-filled teeth.  
Brit Dent J **1980**:148:159-162.
90. **Isselbacher KJ, Braunwale E, Wilson JD, Martin JB, Fauci AS, Kasper DL:**  
Harrisons Innere Medizin 2.  
Blackwell Wissenschafts-Verlag.  
13. Auflage **1995**:2425.
91. **Joiner A, Muller D, Elofsson UM, Arnebrant T:**  
Ellipsometry analysis of the in vitro adsorption of tea polyphenols onto salivary pellicles.  
Eur J Oral Sci **2004**:112:510-115.
92. **Joiner A, Muller D, Elofsson UM, Malmsten M, Arnebrant T:**  
Adsorption from black tea and red wine onto in vitro salivary pellicles studied by ellipsometry.  
Eur J Oral Sci **2003**:111:417-422.
93. **Joiner A, Thakker G, Cooper Y:**  
Evaluation of a 6% hydrogen peroxide tooth whitening gel on enamel and dentine microhardness in vitro.  
J Dent **2004a**:32:27-34.
94. **Justino LM, Tames DR, Demarco FF:**  
In situ and in vitro effects of bleaching with carbamide peroxide on human enamel.  
Oper Dent **2004**:29(2):219-225.
95. **Kappert HF, Bregler C:**  
Objektivierete Farbbestimmung von Farbringzähnen und natürlichen Zähnen.  
Quintessenz Zahntech **1992**:18:1279-1301.
96. **Kaya AD, Türkün M:**  
Reversal of dentin bonding to bleached teeth.  
Oper Dent **2003**:28(6):825-829.
97. **Kerr DA, Ash MM:**  
Stain and Accretions.  
In: Oral Pathology; Verlag Lea & Febiger, Philadelphia **1971**.
98. **Kielbassa AM, Wrbas KT:**  
Extrinsische und intrinsische Zahnverfärbungen. Teil 1: Ursachen.  
Zahnärztl Welt **2000a**:109(4):177-83.
99. **Wrbas KT, Kielbassa AM:**  
Extrinsische und intrinsische Zahnverfärbungen. Teil 2: Therapie extrinsischer Zahnverfärbungen.  
Zahnärztl Welt **2000**:109(5):246-52.

100. **Kim JH, Lee YK, Lim BS, Rhee SH, Yang HC.**  
Effect of tooth-whitening strips and films on changes in color and surface roughness of resin composites.  
Clin Oral Invest **2004**:8:118-122.
101. **Kim ST, Abbot PV, McGinley P:**  
The effects of Ledermix paste on discolouration of mature teeth.  
Int Endod J **2000**:33:227-232.
102. **Kirk EC:**  
The chemical bleaching of teeth.  
Dent Cosmos **1889**:31:273-283.
103. **Kugel G, Aboushala A, Sharma S, Ferreira S, Anderson C:**  
Maintenance of whitening with a power toothbrush after bleaching treatment.  
Compend Contin Educ Dent **2004**:25(2):119-131..
104. **Kum KY, Lim KR, Lee CY, Park KH, Safavi KE, Fouad AF, Spångberg LS:**  
Effects of removing residual peroxide and other oxygen radicals on the shear bond strength and failure modes at resin-tooth interface after tooth bleaching.  
Am J Dent **2003**:17(4):267-270.
105. **Langsdorff v. G:**  
Ueber den Einfluss gewisser Stoffe auf das Zahnbeingewebe.  
Deutsche Vierteljahrsschrift für Zahnheilkunde **1874**:XIV(III):264-265.
106. **Leibrock A, Rosentritt M, Behr M, Güray N, Handel G:**  
Einflüsse unterschiedlicher Meßparameter auf die metrische Farbbestimmung mit dem Spektralfarbmeßgerät Castor<sup>TM</sup>.  
Dtsch Zahnärztl Z **1995**:50:664-667.
107. **Leonard RH, Bentley CD, Eagle JC, Garland GE, Knight MC, Phillips C:**  
Nightguard vital bleaching: a long-term study of efficacy, shade retention, side effects, and patients' perceptions.  
J Esthet Restor Dent **2001**:13(6):357-369.
108. **Leonard RH, Bentley CD, Haywood VB:**  
Salivary pH changes during 10% carbamide peroxide bleaching.  
Quintessence Int **1994**:25:547-550.
109. **Leonard RH jr., Haywood VB, Caplan DJ, Tart ND:**  
Nightguard vital bleaching of tetracyclin-stained teeth: 90 month post treatment.  
J Esthet Restor Dent **2003**:15(3):142-153.
110. **Leonard RH jr., Haywood VB, Eagle JC, Garland GE, Matthews KP, Tart ND:**  
Nightguard vital bleaching of tetracyclin-stained teeth: 54 month post treatment.  
J Esthet Dent **1999**:11(5):265-277.
111. **Leonard RH jr., Haywood VB, Phillips C:**  
Risikofaktoren für Zahnüberempfindlichkeiten und Gingivairritationen bei Anwendung der "Nightguard vital bleaching technique".  
Quintessenz **1997**:48(8):1049-1064.
112. **Leonard RH, Sharma A, Haywood VB:**  
Use of different concentrations of carbamide peroxide for bleaching teeth: an in vitro study.  
Quintessence Int **1998**:29:503-507.

113. **Lewinstein I, Fuhrer N, Churaru N, Cardash H:**  
Effect of different peroxide bleaching regimes and subsequent fluoridation on the hardness of human enamel and dentin.  
J Prosthet Dent **2004**:92:337-42.
114. **Löffler G, Petrides PE:**  
Biochemie und Pathobiochemie.  
Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York  
6. Auflage **1997**:512,885.
115. **Loretto SC, Braz R, Lyra AMVC, Lopes LM:**  
Influence of photopolymerization light source on enamel shear bond strength after bleaching.  
Braz Dent **2004**:15(2):133-137.
116. **Machu W.**  
Das Wasserstoffperoxid und die Perverbindungen.  
2. Auflage Springer-Verlag Wien **1951**:58,61f,76,83,217ff,335f,357,
117. **Marin PD, Bartold PM, Heithersay GS:**  
Tooth discoloration by blood: an in vitro histochemical study.  
Endod Dent Traumatol **1997**:13:132-138.
118. **Matis BA, Cochran MA, Eckert G, Carlson TJ:**  
Wirksamkeit und Sicherheit eines Gels zum Bleichen vitaler Zähne.  
Quintessenz **1998**:49(10):979-987.
119. **Matis BA, Wang Y, Jiang T, Eckert GJ:**  
Extended at-home bleaching of tetracycline-stained teeth with different concentrations of carbamide peroxide.  
Quintessence Int **2002**:33(9):645-655.
120. **McCracken MS, Haywood VB:**  
Effects of 10% carbamide peroxide on the subsurface hardness of enamel.  
Quintessence Int **1995**:26(1):21-24.
121. **Meyers großes Taschenlexikon**  
B.I.Taschenbuchverlag **1992**.
122. **Microsoft® Encarta® Enzyklopädie 2005®**  
1993-2004 Microsoft Corporation.
123. **Miguel LC, Baratieri LN, Monteiro S, Ritter AV:**  
In situ effect of 10% carbamide peroxide on resin-dentin bond strengths: a novel pilot study.  
J Esthet Restor Dent **2004**:16:235-242.
124. **Misek B, Powers J, Ruggiero J, Skauen D:**  
Pharmaceutical uses of Carbopol® 934.  
J Am Pharm Assoc Am Pharm Assoc (Baltim) **1956**:45(1):56-9.
125. **Miyazaki M, Sato H, Sato T, Moore BK, Platt JA:**  
Effect of a whitening agent application on enamel bond strength of self-etching primer system.  
Am J Dent **2004**:17(3):151-155.

126. **Morgenroth K, Bremerich A, Lange DE.**  
Pathologie der Mundhöhle.  
3. überarbeitete Auflage, Thieme Verlag **1996**:79-80.
127. **Nakamura T, Nakajima H, Salimee P, Hino T, Maruyama T:**  
Effect of bleaching on vital discoloured teeth – a colorimetric evaluation in tree patients.  
Asia J Aesthet Dent **1993**:1(1):25-28.
128. **Nakamura T, Saito O, Maruyama T:**  
The effects of polishing and bleaching on the colour of discoloured teeth in vivo.  
J Oral Dent **2001**:28:1080-1084.
129. **Nathoo SA:**  
The chemistry and mechanism of extrinsic and intrinsic discolorations.  
JADA **1997**:128:6S-10S.
130. **Nathoo S, Stewart B, Petrone ME, Chaknis P:**  
Comperative clinical investigation of the tooth whitening efficiacy of two tooth whitening gels.  
J Clin Dent **2003**:14(3):64-69.
131. **Nathoo S, Stewart B, Zhang YP, Chaknis P, Rustogi KN, DeVizio W, Petrone M, Volpe AR:**  
Efficiacy of a novel, nontray, paint-on 18% carbamide peroxide whitening gel.  
Compend Contin Educ Dent **2002**:23(11):26-31.
132. **Nessel F:**  
Handbuch der Zahnheilkunde.  
In Commission bei J.G. Calve in Prag **1840**:216.
133. **Neumüller OA:**  
Römpp Chemie-Lexikon.  
Georg Thieme Verlag.  
7. Auflage **1977**.
134. **Nordbø H, Skjørland KK, Eriksen HM:**  
Auger elektron spectroscopy of iron in dental pellicle from stainers and non-stainers.  
Acta Odontol Scand **1984**:42:37-40.
135. **Nucci C, Marchionni S, Piana G, Mazzoni A, Prati Carlo:**  
Morphological evaluation of enamel surface after application of two home whitening products.  
Oral Health Prev Dent **2004**:2:221-229.
136. **Oltu Ü, Gürgan S:**  
Effects of three concentrations of carbamid peroxide on the structure of enamel.  
J Oral Rehabil **2000**:27:332-340.
137. **Plasschaert AJM, van der Burgt TP:**  
Zahnverfärbungen durch endodontische Materialien.  
Stomatol DDR **1988**:38(3):161-166.

138. **Pretty IA, Edgar WM, Higham SM:**  
The effect of bleaching on enamel susceptibility to acid erosion and demineralisation.  
Br Dent J **2005**:198(5):285-90.
139. **Proctor GB, Pramanik R, Carpenter GH, Rees GD:**  
Salivary Proteins Interact with Dietary Constituents to Modulate Tooth Staining.  
J Dent Res **2005**:84(1):73-78.
140. **Proctor & Gamble:**  
blend-a-med Whitestrips – Der einfache Weg zu helleren Zähnen.  
[www.proctorundgamble.de/presse/aktuell/whitestrips-05-02/index.shtml](http://www.proctorundgamble.de/presse/aktuell/whitestrips-05-02/index.shtml).
141. **Pschyrembel:**  
Klinisches Wörterbuch **1998**.  
Verlag Walter de Gruyter.
142. **Pugh G, Zaidel L, Lin N, Stranik M, Bagley D:**  
High levels of hydrogen peroxide in overnight tooth-whitening formulas: Effect on enamel and pulp.  
J Esthet Restor Dent **2005**:17:40-47.
143. **Redmond AF, Cherry DV, Bowers Jr. DE:**  
Acute illness and recovery in adult female rats following ingestion of a tooth whitener containing 6% hydrogen peroxide.  
Am J Dent **1997**:10:268-271.
144. **Richter M:**  
Einführung in die Farbmeterik.  
2. Auflage, Walter de Gruyter . Berlin . New York **1981**:42.
145. **Rinderer L:**  
Verfärbungen und Missbildungen von Zähnen nach Tetracyclin-Medikation im Säuglingsalter.  
Fortschritte der Kieferorthopädie **1967**:28:335-342.
146. **Ritter AV, Leonard RH jr., Georges AJ, Caplan DJ, Haywood VB:**  
Safety and stability of nightguard vital bleaching: 9 to 12 years post-treatment.  
J Esthet Restor dent **2002**:14(5):275-285.
147. **Robertello FJ, Dishman MV, Sarrett DC, Epperly AC:**  
Effect of home bleaching products on mercury release from an admixed amalgam.  
Am J Dent **1999**:12:227-230.
148. **Rosenstiel SF, Gegauff AG, Johnston WM:**  
Duration of tooth color change after bleaching.  
JADA **1991**:123:54-59.
149. **Rosentritt M, Lang R, Plein T, Behr M, Handel G:**  
Discoloration of restorative materials after bleaching application.  
Quintessence Int **2005**:36(1):33-39.
150. **Rotstein I, Avron Y, Shemesh H, Dogan H, Mor C, Steinberg D:**  
Factors affecting mercury release from dental amalgam exposed to carbamide peroxide bleaching agent.  
Am J Dent **2004**:17(5):347-350.

151. **Rotstein I, Wesselink PR, Bab I:**  
Catalase protection against hydrogen peroxide-induced injury in rat oral mucosa.  
Oral Surg Oral Med Oral Pathol **1993a**:75:744-50.
152. **Schemenhorn 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.
153. **Schröder HE.**  
Orale Strukturbiologie.  
4. überarbeitete Auflage, Thieme Verlag **1992**:173.
154. **Schulz J.**  
Kohlehydrate in der Mundhöhle, Blutglukosekonzentration.  
Praktikum der Biochemie für Zahnmedizinstudenten, Institut für Biochemie der Humboldt-Universität zu Berlin:**1999**.
155. **Scumb WC, Satterfield CN, Wentworth RL:**  
Hydrogen Peroxide.  
Reinhold Publishing Corporation New York **1955**.
156. **Seghi RR, Hewlett ER, Kim J:**  
Visual and instrumental colorimetric assessment of small color differences on translucent dental porcelain.  
J Dent Res **1989**:68(12):1760-1764.
157. **Seltzer S:**  
Catalase protection against hydrogen peroxide-induced injury in rat oral mucosa.  
Oral Surg Oral Med Oral Pathol **1993**:75:744-750.
158. **Setz JS:**  
Zahnfarbringe – Untersuchungen, Kritik und mögliche Verbesserungen.  
dental-labor XL **1992**:11:1903-1906.
159. **Shriver DF, Atkins PW, Langford CH:**  
Anorganische Chemie.  
VCH Verlagsgesellschaft GmbH Weinheim **1992**:274-276,430.
160. **Siegel H.**  
Biochemie für Mediziner und Naturwissenschaftler.  
Marburg **1996**.
161. **Slezak B et al.:**  
Safety profile of a new liquid whitening gel.  
Compend Contin Educ Dent **2002**:23(11)suppl1:4-11.
162. **Sönju T, Rölla G.**  
Chemical analysis of the acquired pellicle formed in two hours on cleaned human teeth in vivo.  
Caries Res **1973**:7(1):30-38.
163. **Spalding M, Taveira LA, Assis GF:**  
Scanning electron microscopy study of dental enamel surface exposed to 35% hydrogen peroxide: alone, with saliva, and with 10% carbamide peroxide.  
J Esthet Restor Dent **2003**;15:154-165.

164. **Spasser HF:**  
A simple bleaching technique using sodium perborate.  
NY State Dent **1961**:27:332-334.
165. **Stellwagen TC:**  
Bleaching teeth.  
Dent Cosmos **1870**:12:625-627.
166. **Stephan RM:**  
The effect of urea in counteracting the influence of carbohydrates on the pH of dental plaques.  
J Dent Res **1943**:22:63-71.
167. **Streudel R:**  
Chemie der Nichtmetalle.  
2. Auflage Walter de Gruyter **1998**:249.
168. **Sulieman M:**  
An Overview of Bleaching Techniques: 1. History, Chemistry, Safety and Legal Aspects.  
Dent Update **2004**:31:608-616.
169. **Sulieman M:**  
An Overview of Bleaching Techniques: 3. In-surgery or power bleaching.  
Dent Update **2005b**:32:101-108.
170. **Sulieman M, Addy M, MacDonald E, Rees JS:**  
A safety study in vitro for the effects of an in-office bleaching system on the integrity of enamel and dentin.  
J Dent **2004**:32:581-590.
171. **Sulieman M, Addy M, Rees JS:**  
Development and evaluation of a method in vitro to study the effectiveness of tooth bleaching.  
J Dent **2003**:31:415-422.
172. **Sulieman M, Addy M, Rees JS:**  
Surface and intra-pulpal temperature rises during tooth bleaching: an in vitro study.  
Br Dent J **2005**:199(1):37-40.
173. **Swift EJ, May KN jr., Wilder AD jr., Heymann HO, Bayne SC:**  
Two-year clinical evaluation of tooth whitening using an at-home bleaching system.  
J Esthet Dent **1999**:11(1):36-42.
174. **Taatz H:**  
Morphophysiologische Grundlagen des orofazialen Systems und Einführung in die spezielle stomatologische Krankheitslehre.  
Verlag Johann Ambrosius Barth Leipzig **1976**:94-100, 137.
175. **Teixeira ECN, Ritter AV, Thompson JY, Leonard Jr RH, Swift Jr E:**  
Effect of tray-based and trayless tooth whitening systems on microhardness of enamel surface and subsurface.  
Am J Dent **2004**:17(6):433-436.

176. **Timpawat S, Nipattamanon C, Kijsamanmith K, Messer HH:**  
Effect of bleaching agents on bonding to pulp chamber dentine.  
*Int Endod J* **2005**;38:211-217.
177. **Titley KC, Torneck CD, Smith DC, Chernecky R, Adibfar A:**  
Scanning electron microscopy observations on the penetration and structure of resin tags in bleached and unbleached bovine enamel.  
*J Endod* **1991**;17(2):72-75.
178. **Titley KC, Torneck CD, Ruse ND, Krmec D:**  
Adhesion of a resin composite to bleached and unbleached human enamel.  
*J Endod* **1993**;19(3):112-115.
179. **Trodahl JN, Schwartz S, Gorlin RJ:**  
The pigmentation of dental tissues in erythropoietic (congenital) porphyria.  
*J Oral Path* **1972**;1(4):159-171.
180. **Tsubura S, Yamaguchi R:**  
Clinical evaluation of a new bleaching product "Polanight" in a Japanese population.  
*Odontology* **2005**;93:52-55.
181. **Turker ŞB, Biskin T:**  
Effect of three bleaching agents on the surface properties of three different esthetic restorative materials.  
*J Prosthet Dent* **2003**;89:466-473.
182. **Ulukapi H, Benderli Y, Ulukapi I:**  
Effect of pre- and postoperative bleaching on marginal leakage of amalgam and composite restorations.  
*Quintessence Int* **2003**;34(7):505-508.
183. **Ünlü N, Çobankara FK, Altinöz C, Özer F:**  
Effect of home bleaching agents on the microhardness of human enamel and dentin.  
*J Oral Dent* **2004**;31:57-61.
184. **Vallittu PK, Vallittu ASJ, Lassila VP:**  
Dental aesthetics – a survey of attitudes in different groups of patients.  
*J Dent* **1996**;24:335-338.
185. **Van der Burgt TP, Eronat CE, Plasschaert AJM:**  
Staining patterns in teeth discolored by endodontic sealers.  
*J Endod* **1986**;12(5):187-191.
186. **Van Winkelhoff AJ, Van der Welden U, Winkel EG, de Graaff J:**  
Black-pigmented bacteroides and motile organism on oral mucosal surfaces in individuals with and without periodontal breakdown.  
*J Periodont Res* **1986**;21:434-439.
187. **Vitkov L, Hannig M, Nekrashevych Y, Krautgartner WD:**  
Supramolecular pellicle precursors.  
*Eur J Oral* **2004**; 112:320-325.
188. **Vogel RI:**  
Intrinsic and extrinsic discoloration of the dentition.  
*J Oral Med* **1975**;30:99-103.

189. **Wattanapayungkul P, Yap AUJ, Chooi KW, Lee MFLA, Selamat RS, Zhou RD.**  
The effect of home bleaching agents on the surface roughness of tooth-colored restoratives with time.  
Oper Dent **2004**:29(4):398-403.
190. **Watts A, Addy M:**  
Tooth discoloration and staining: a review of the literature.  
Br Dent J **2001**:190:309-316.
191. **Wainwright W, Lemoine A:**  
Rapid diffuse penetration of intact enamel and dentin by carbon<sup>14</sup>-labeled urea.  
J Am Dent Assoc **1950**:41:135-145.
192. **Weigert WM:**  
Wasserstoffperoxid und seine Derivate – Chemie und Anwendungen.  
Dr. Albert Hüthig Verlag Heidelberg **1978**:19,25f,117,199,200.
193. **Weitzman SA, Weitberg AB, Stossel TP, Schwartz J, Shklar G:**  
Effects of hydrogen peroxide on oral carcinogenesis in hamsters.  
J Periodontol **1986**:57:685-688.
194. **White DJ, Kozak KM, Zoladz JR, Duschner HJ, Götz H:**  
Effects of Crest Whitestrips bleaching on subsurface microhardness and ultra-structure of tooth enamel and coronal dentin.  
Am J Dent **2004**:17(1):5-11.
195. **Wiberg E:**  
Holleman-Wiberg  
Lehrbuch der anorganischen Chemie.  
Verlag Walter de Gruyter, Berlin, New York **1976**:298.
196. **Wille T, Combe E, Pesun J, Giles W:**  
Rheological characteristics of tooth bleaching materials.  
J Oral Rehabil **2000**:27:1060-1063.
197. **Woolverton CJ, Haywood VB, Heymann HO:**  
Toxicity of two carbamide peroxide products used in nightguard vital bleaching.  
Am J Dent **1993**:6:310-314.
198. **Yamamoto M:**  
Die Entwicklung des Vintage-Halo-CCS-Systems. Computergesteuerte Farbbestimmung und innovative Keramikwerkstoffe.  
Quintessenz Verlags GmbH, Berlin, **1998**.

## 10. Anhang

### 10.1 Instrumentarium

- Zahnärztliche Pinzette Aesculap AG & Co. KG, Tutlingen, Deutschland
- Zahnärztliche Sonde Aesculap AG & Co. KG, Tutlingen, Deutschland
- Zahnärztlicher Mundspiegel Hu-Friedy, Leimen, Deutschland
- Universalscaler M23 Fa. Deppeler, Rolle, Schweiz
- Parodontalsonde PCP10 Hu-Friedy, Leimen, Deutschland
- Vita-Lumin-Vacuum Farbskala Vita Zahnfabrik, Bad Säckingen, Deutschland
- Einmal-Abformlöffel Vita-Zahnfabrik, H. Rauter GmbH & Co.

### 10.2 Verbrauchsmaterialien

- Polierbürstchen Nylon Hawe Neos Dental SA, Bioggio/Schweiz
- Polierpaste Proxylt medium Ivoclar Vivadent AG, Schaan, Liechtenstein
- Zahnseide ungewachst Gaba GmbH-elmex<sup>®</sup>-Forschung, Lörrach, Deutschland
- Kältespray Endo-Frost roeko Coltène/Whaledent, Langenau, Deutschland
- Wattepellets roeko Coltène/Whaledent, Langenau, Deutschland
- Elmex-fluid Gaba GmbH-elmex<sup>®</sup>-Forschung, Lörrach, Deutschland
- Alginat Abformmasse Palgat<sup>™</sup> Plus, 3M Espe AG, Seefeld, Deutschland
- Octa-dur Hartgips Typ III Hereus Kulzer GmbH & Co., Hanau, Deutschland
- Tiefziehfolien Bioplast (2mm) Fa. Scheu Dental, Iserlohn, Deutschland

### 10.3 Technische Geräte

- Zahnärztliche Behandlungseinheit Sirona 1s, Siemens AG, Stuttgart, Deutschland, Prophylaxeraum Zahnklinik Nord, Charité-Universitätsmedizin, Campus Virchow Klinikum, Berlin, Deutschland
- Tiefziehgerät MiniStar<sup>®</sup>, Fa. Scheu Dental, Iserlohn, Deutschland
- DIGITAL CAMERA FUJIFILM, FinePix S2 Pro, Fuji Photo Film Co.Ltd., Tokio, Japan
- ShadeEye NCC, Fa. SHOFU INC. Kioto, Japan

## 10.4 Hardware und Software

- Notebook Samsung P35, Fa. Samsung Electronics
- Microsoft® Word 2002
- Microsoft® Excel 2002
- SPSS 12.0G for Windows

## 10.5 Abkürzungen

Abkürzung	Erklärung
*	Signifikanzniveau $p < 0,05$
**	Signifikanzniveau $p < 0,01$
***	Signifikanzniveau $p < 0,001$
±	plus/minus
µg, µmol, ml, mm, nm	Mikrogramm, Mikromol, Milliliter, Millimeter, Nanometer
a*	Farbsättigung Rot-Grün-Achse
b*	Farbsättigung Blau-Gelb-Achse
CHX	Chlorhexidindigluconat
CIE	Commission International De L'Eclairage (Internationale Beleuchtungskommission)
CP	carbamide peroxide (Harnstoffperoxid)
DIN	Deutsches Institut für Normung e.V.
DMBA	9,10-dimethyl-1,2-benzanthracene
F <sup>-</sup> , Hg	Fluoridion, Quecksilber
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	Wasserstoffperoxid
HP	hydrogen peroxide (Wasserstoffperoxid)
L*	Helligkeit
mg/kg KG	Milligramm je Kilogramm Körpergewicht
n.s.	nicht signifikant
OK / UK	Oberkiefer / Unterkiefer
OTC	Over-the-counter
ppm	parts per million
PZR	Professionelle Zahnreinigung
SPSS	Super Performing Software System
UV	Ultraviolett
vs.	versus (im Gegensatz zu...)
ΔE*	$\Delta E^* = \sqrt{(\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2 + (\Delta L^*)^2}$ Delta E* - Abstand zweier Farborte im dreidimensionalen Farbraum
λ	Lambda, Formelzeichen Wellenlänge

## **10.6 Danksagung**

Hiermit möchte ich mich in aller Form bei denen bedanken, durch die mir die Erstellung dieser Arbeit möglich wurde.

Dieser Dank gilt besonders Herrn Professor Dr. K.-R. Jahn für die freundliche Überlassung des Themas für die Dissertation.

Herzlich bedanken möchte ich mich bei meiner Mentorin Frau Dr. M. Bizhang für die Motivation zur Durchführung der Untersuchung und Anfertigung dieser Arbeit und für ihre kritischen Hinweise.

Mein Dank gilt auch der Murnauers Markenvertrieb GmbH (Trebur, Deutschland) für die Bereitstellung der Materialien für diese Untersuchung.

Auch Herrn Fuchs von der Fa. Shofu Inc. gilt mein Dank für die unbürokratische Bereitstellung des Farbmessgerätes ShadeEye NCC zu allen Untersuchungsterminen.

Frau Armenat und Frau Steinke aus dem zahntechnischen Labor der Zahnklinik Nord des Virchow-Klinikums Berlin danke ich für ihre Unterstützung bei den zahntechnischen Arbeiten.

Zu den Untersuchungen wurde ich Tag für Tag von meiner Schwester und Helferin Heike begleitet, die geschrieben, assistiert, gewischt und desinfiziert hat. Vielen Dank dafür.

Die Anfertigung von 200 Gipsmodellen und die Fertigstellung von 200 Justierhilfen mit insgesamt 1200 Bohrungen wäre wahrhaft schwierig gewesen ohne die Unterstützung meiner Tochter Steffi und ihres Partners Enrico.

Franziska, meiner jüngsten Tochter, kann ich nicht genug danken. Sie war immer für mich da, hat mich im Alltag entlastet, Korrektur gelesen und mich immer im richtigen Moment umarmt.

Bedanken will ich mich aber auch bei allen, die mich durch ihr reges Interesse am Fortgang der Arbeit stets motiviert haben: meine Tochter Marie, ganz besonders meine Mom, meine Geschwister und meine Freunde.

Zuallerletzt und besonders herzlich möchte ich meinem Mann Frank danken, der mich mit seinem unerschöpflichen Vertrauen immer wieder überrascht hat. Er hat mich über die ganze Zeit mit einer unerschütterlichen Geduld und ohne ein Wort der Klage begleitet.

## **10.7 Lebenslauf**

Mein Lebenslauf wird aus Datenschutzgründen in der elektronischen Version meiner Arbeit nicht mit veröffentlicht.

### **11.7 Eidesstattliche Erklärung**

Ich, Elke Schmidt, erkläre, dass ich die vorgelegte Dissertationsschrift mit dem Thema: „Vergleichende klinische Prüfung der Wirksamkeit vier verschiedener Bleichtherapien“ selbst verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt, ohne die Hilfe Dritter verfasst und auch in Teilen keine Kopien anderer Arbeiten dargestellt habe.

---

Datum

Unterschrift

