

2 Schrifttum

2.1 Verblendung

Unter Verblendung versteht man die Verkleidung des Zahnersatzes mit einer zahnfarbenen Masse zur Imitation des ursprünglichen optischen Erscheinungsbildes des Zahnes. Da das Verblendmaterial ein gewisses Volumen benötigt, wird dieser Raum bereits vorher an dem zu verblendenden Metallgerüst ausgespart. Gute optische Eigenschaften sind das Ziel bei der Anfertigung einer Verblendung.

Man unterscheidet zwischen Kunststoffverblendungen und Keramikverblendungen, die jeweils unterschiedliche materialtechnische, physikalische Eigenschaften haben. Beide sollen prinzipiell aber die optischen Eigenschaften des Zahnersatzes verbessern.

2.1.1 Keramikverblendungen

Keramikverblendungen werden in der Regel auf das sogenannte Gerüst bei Temperaturen um ca. 1000 °C aufgebrannt; dieses muss die entstehenden Temperaturen aushalten. Diese Verblendungen sind sehr hart, jedoch bruchanfällig gegenüber Zugbelastung, was schon bei der Anfertigung des Gerüstes entsprechend berücksichtigt werden muss.

Unter geeigneten Bedingungen reagiert das keramische Verblendmaterial mit der aufbrennfähigen Legierung, und es entsteht ein chemischer Verbund [30]. Dieser erfolgt über Haftoxide, die durch Wärmebehandlung der Aufbrennlegierung aus den unedlen Bestandteilen der Legierung gewonnen werden.

2.1.2 Kunststoffverblendungen

Da sich diese Arbeit mit Kunststoffverblendungen befasst, soll hier näher auf diese Art der Verblendung eingegangen werden. Sie konnte mit der Metallbasis des Zahnersatzes lange Zeit keinen direkten Verbund eingehen. Retentionen mussten geschaffen werden, um eine Verankerung des Materials zu erreichen. Mechanische Retentionselemente sind Gussperlen, Unterschnitte an den Rändern oder anderen Bereichen des Gerüstes. Zusätzlich konnte die

Metalloberfläche noch durch Schleifen, Sandstrahlen oder Ätzen angeraut werden, was eine mikromechanische Retention bewirkte.

Nachteilig für einen festen Kunststoff-Metall-Verbund sind die sehr unterschiedlichen chemischen Eigenschaften. Es ist lediglich ein physikalisch-adhäsiver Verbund möglich. Zusätzlich fallen die Eigenschaft von Kunststoff, im Laufe der Zeit Wasser aufzunehmen, die Polymerisationsschrumpfung sowie der sehr unterschiedliche thermische Ausdehnungskoeffizient, der bei Kunststoffen um den Faktor 3 bis 7 größer ist als bei den Metallen, negativ ins Gewicht.

Seit einigen Jahren verwendet man unterschiedliche Adhäsivsysteme, bei denen zwischen Metall und Kunststoff ein zusätzliches Zwischenzonenmaterial angewendet wird, das sowohl mit dem Verblendkunststoff eine chemische Verbindung eingeht als auch mit dem Metallgerüst adhäsiv verbunden werden kann. Zu nennen sind hier organische, silikatische und oxidische Verbundzwischen-schichten. Bei der Gruppe der organischen Monomer-adhäsive ließ die Verbundfestigkeit durch Hydrolyse im Laufe der Zeit am stärksten nach. Am ehesten bewährten sich die silikatischen Verbundzwischen-schichten. Die Verbundfestigkeit ist durchaus mit der Festigkeit, die durch Gussperlen erreicht wird, vergleichbar.

2.1.3 Zusammensetzung von Verblendkompositmaterialien

Wenn man von Kunststoffverblendungen spricht, sind das heute in der Regel Kompositmaterialien. Diese sind, wie der Name schon andeutet, zusammengesetzt aus unterschiedlichen Stoffgruppen. Die Bestandteile der Verblendmasse sind neben der Grundeinheit des Kunststoffs, dem Monomer, anorganische Füllstoffe, die Bestandteile des die Startreaktion ermöglichenden Aktivatorsystems, Inhibitoren, die eine ungewollte Polymerisation verhindern, Pigmente zur Farbgebung, optische Aufheller und Silane, die einen Verbund der Kunststoffmatrix mit den Füllstoffen bewirken [18, 33].

Charakteristisch sind einmal der organische Bestandteil, der eigentliche Kunststoff, zum anderen die anorganischen Füllstoffe.

Die ursprünglichen Verblendkunststoffe waren Zweikomponentensysteme, d.h., eine Monomerflüssigkeit und ein Pulver aus vernetzten Acrylat wurden vermischt. Die schlechte Mundbeständigkeit und eine hohe Polymerisationsschrumpfung dieser Materialien waren nachteilig [28].

Charakterisiert wird ein Komposit unter anderem durch seine Füllstoffe. Die Füllstoffe sind Silikate, Siliziumoxide und Glaskeramiken. Sinn und Zweck dieses Zusatzes von Füllstoffen

sind die Verringerung der Polymerisationsschrumpfung durch diese nicht polymerisierenden Bestandteile, der geringere Abrieb durch den Zusatz eben dieser relativ harten Komponente sowie ein geringerer Wärmeausdehnungskoeffizient [50].

Insgesamt kann man sagen, dass durch den Zusatz der anorganischen Füllstoffe die physikalischen Eigenschaften verbessert werden [18, 37, 27].

Abhängig von der Größe der Füllstoffe unterscheidet man zwischen mikrogefüllten, makrogefüllten und einer Kombination aus beiden, den Hybridkompositen.

Bei einer Korngröße von über 1 μm spricht man von Makrofüllstoffen; die gängigen makrogefüllten Komposite hatten Korngrößen von ca. 30 μm . Als Matrix wird hierbei Bis-GMA verwendet. Zu deren Nachteilen gehören Substanzverluste infolge Korrosion sowie eine schlechte Polierbarkeit, was deren Verwendung eher nachteilig macht.

Mikrofüllstoffe haben eine Korngröße von definitionsgemäß unter 1 μm . Praktisch liegen die Füllkörpergrößen im Bereich von 10 bis 40 μm . Es werden dafür Splitterpolymerisate hergestellt, die bei einer Korngröße von etwa 40 μm in die eigentliche Matrix-Bis-GMA, UDMA oder eine Mischung aus beiden - eingemischt werden. Sie sind sowohl gut anpolymerisierbar als auch polierbar. Hybridkomposite nennt man schließlich die Kombination aus Makro- und Mikrofüller enthaltenden Kompositen. Mittlere Korngrößen befinden sich in einer Größenordnung von unter 1 μm , die bei einem Anteil von bis zu 80 % in die Matrix aus Bis-GMA, UDMA oder PCDMA eingemischt werden. Aufgrund der kleinen Füllkörpergröße sind diese Materialien gut polierbar.

Die organische Matrix der Kompositmaterialien sind unvernetzte Moleküle, die durch Vernetzung zu Polymeren werden. Diese Vernetzungsreaktion kann durch Zusammenbringen zweier Pasten geschehen. Das ist dann die Selbst- oder Autopolymerisation, die inzwischen etwas überholt ist. Die Vernetzung kann jedoch auch durch - durch Licht angeregte - Photoinitiatoren geschehen; man nennt das Lichtpolymerisation. Hierbei ist aufgrund der geringen Durchdringungstiefe von etwa 2 mm eine Endvergütung mit Wärme oder Lichtofen notwendig. Einen relativ niedrigen Vernetzungsgrad besitzen lichthärtende Kompositmaterialien, diese sind jedoch aufgrund einer geringeren Anzahl von Porositäten und eines anderen Initiatorsystems farbstabiler als chemisch härtende [24].

Einen höheren Vernetzungsgrad erreicht man jedoch durch Hitze-/Druckpolymerisate. Bei allen Methoden wird ein Initiatormolekül bei der Startreaktion in Radikale zerlegt, welche die Polymerisation in Gang setzen [49].

Der Verbund der organischen Matrix mit den anorganischen Füllstoffen findet über eine Silanschicht auf der Oberfläche der Füllstoffpartikel statt, welche eine chemische Bindung zwischen den Komponenten bewirkt. Durch diese chemische Verbindung werden die Materialeigenschaften des Verblendkomposits deutlich verbessert. In diversen Studien wurde gezeigt, dass verschiedene Silanisierungsmethoden die Festigkeitseigenschaften des Kunststoffes verbessern können [11, 22].

2.2 Licht und Farbe

2.2.1 Definition von Licht

Elektromagnetische Wellen der Wellenlänge 400 bis 800 nm empfinden wir als Licht. Die Farbe eines Körpers, den das Auge betrachtet, entsteht aus Licht, das auf den Körper, so es kein selbstleuchtender Körper ist, auftrifft und in das Auge des Betrachters reflektiert wird. Dieser Körper kann elektromagnetische Wellen absorbieren, den nicht absorbierten Anteil reflektieren.

Die Absorption von Lichtenergie, also der Energie elektromagnetischer Wellen, ist abhängig von der Molekülstruktur des Körpers, insbesondere von seinen freien π -Elektronen. Diese lassen sich leichter in einen höheren Energiezustand bringen, können somit Energie des Lichtes absorbieren. Um so ausgedehnter das System von freien Elektronenpaaren und π -Elektronen ist, desto weniger energiereich muss das absorbierte Licht sein, das der Körper zu absorbieren imstande ist.

Ein schwarzer Körper hat demnach ein sehr ausgeprägtes π -Elektronensystem, da er alles auftreffende Licht absorbiert und somit dem Betrachter schwarz erscheint. Bei einem weißen Körper gilt entsprechend das Gegenteil. Er reflektiert das auftreffende Licht komplett, keine freien Elektronenpaare werden angeregt, also wird auch keine Verschiebung der Wellenlänge des reflektierten Lichtes erreicht [5].

Wird dieses reflektierte Licht von einem betrachtenden Auge wahrgenommen, kann die Person dem Körper eine Farbe zuordnen.

2.2.2 Farbe

Farbe kann man als eine vom Auge des Betrachters vermittelte Empfindung der Wellenlänge einfallenden Lichtes beschreiben. In diesem Sinne ist Farbe eine subjektive Wahrnehmung.

Wie das Auge nun die Farbe wahrnimmt, ist in zwei unterschiedlichen Theorien beschrieben:

1. Die Dreifarben­theorie nach YOUNG-HELMHOLTZ (Dreirezeptoren­hypo­these):

Ausgegangen wird hierbei von den Gesetzen der additiven Farbmischung (GRASSMANN-Gesetze). Es existieren hierbei drei Arten von Rezeptoren auf der Netzhaut, jeweils für den blauen, roten und grünen Anteil des empfundenen Lichtes. Je nachdem, welcher Anteil am stärksten vertreten ist, wird die Farbe vom Betrachter empfunden. Sind nun alle Anteile gleich stark vertreten, so wird das Licht als unbunt empfunden [38].

2. Die Gegenfarbentheorie (HERING-Theorie):

Es wird hierbei von Gegenfarbenpaaren ausgegangen, zu denen noch eine Schwarz-Weiß-Empfindung hinzukommt. Bei der Farbempfindung wird nun entweder eine Rot-Grün-Substanz, eine Blau-Gelb-Substanz oder die Schwarz-Weiß-Komponente auf- oder abgebaut. Bei Gleichgewicht zwischen den Bunttönen entsteht ein unbunter Farbeindruck, bei gleicher Einwirkung aller Farbenpaare vermittelt die Schwarz-Weiß-Komponente einen Helligkeitseindruck [38].

Die Farbempfindung wird durch die in der Netzhaut befindlichen Zäpfchen hervorgerufen, die durch Licht der entsprechenden Wellenlänge stimuliert werden. Das Auge ist in der Lage zu unterscheiden, welcher Wellenlängenbereich unter Umständen erhöhte Intensitäten aufweist und kann diesem dann eine Farbe zuordnen. Sind alle Wellenlängenbereiche gleich stark vertreten, so wird das einfallende Licht als weiß, oder - je nach Intensität - als Grauton empfunden.

Abhängig ist das Empfinden von Farbe immer davon, wie das Licht beschaffen ist, das auf einen Körper auftrifft, reflektiert und dann vom Auge des Betrachters empfangen wird. Tageslicht hat ein Intensitätsmaximum im Bereich zwischen 450 und 550 nm, das entspricht dem grünlichen Bereich. Dieses durch die Erdatmosphäre gefilterte Sonnenlicht wird auch von heißen Gasen bei einer Temperatur von 6500 K ausgesandt. Daher wird Licht, das von derartigen Lichtquellen ausgeht, oder Tageslicht - nach DIN 5033 auch D65 genannt - als Normlichtart C bezeichnet. Das Licht, das von Glühlampen ausgeht, hat ein Intensitäts-

maximum, das in den rötlicheren Bereich verschoben ist; es entsteht bei einer Temperatur von 2850 K. Nach DIN 5033 wird es als Normlichtart A bezeichnet [20].

2.2.3 Metamerie

Ein und derselbe Körper kann bei Beleuchtung durch unterschiedliche Lichtquellen farblich sehr unterschiedlich empfunden werden, je nachdem, welcher Wellenlänge das Licht ist, das ihn bestrahlt. Dieses Phänomen wird Metamerie genannt und erschwert es, eine exakte Farbestimmung eines Körpers durchzuführen. Voraussetzung für die Vergleichbarkeit von Farbangaben ist somit ein einheitliches Licht, das den Körper bestrahlt. Dabei wird das einfallende Licht von verschiedenen Rezeptoren im Auge auf seine Rot-, Blau- und Grünanteile unterschieden, welche dann zu einem Gesamteindruck verarbeitet werden [20].

2.3 Farbsysteme

2.3.1 Das xyz-Farbsystem

Diese Farbempfindlichkeitsbereiche des Betrachters wurden von der Commission International de l'Eclairage (CIE; Internationale Lichtkommission) in den Funktionen x, y und z festgelegt (1931), wobei x für den Rotanteil, y für den Grün- und z für den Blauanteil steht. Nach einem Rechensystem war es dann möglich, Farben in Zahlenwerten auszudrücken [51].

2.3.2 Das MUNSELL-Farbsystem

Auch MUNSELL hat 1915 ein dreidimensionales System der Farbdarstellung vorgeschlagen [13]. Hierbei werden die Farben in einem Farbraum nach Farbton H (Hue), Sättigung C (Chroma) und Helligkeit V (Value) dargestellt. Dabei wird die Probe visuell mit vorhandenen Referenzfarben verglichen. Diese sind entsprechend gekennzeichnet nach Hue, Value und Chroma, H V/C [13].

2.3.3 Das Lab-Farbsystem

Das Lab-System, auch CIE-Lab-Farbsystem genannt (nach CIE: Commission International de l'Eclairage), ist das wohl am meisten gebrauchte Farbsystem. Es beschreibt durch die Koordinaten L, a und b, wo sich ein bestimmter Punkt im Farbraum befindet. L steht für die Helligkeit, a und b beschreiben den Farbton und die Buntheit des Farbtons. Dabei geben die Vorzeichen an, in welcher Farbrichtung sich der Messpunkt befindet.

Plus a (+a) bedeutet einen Rotanteil, Minus a (-a) einen Grünanteil. Der b-Wert gibt die Position auf der blau/gelb-Skala an, wobei Plus b (+b) für gelb und Minus b (-b) für blau steht [39].

Aus diesen Parametern lässt sich die Farbänderung, die man als ΔE bezeichnet, wie folgt aus den ermittelten Werten ΔL , Δa und Δb errechnen:

$$\Delta E = [(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2]^{1/2}$$

2.3.4 Das LCh-Farbsystem

Dieses System geht von dem gleichen Farbraumdiagramm aus wie das Lab-System, jedoch steht C für die Buntheit und h beschreibt den Winkel zur +a-Achse, also dem Rotton.

Die Buntheit C wird als Abstand von der Mitte des Diagramms, dem unbunten Koordinatenursprung, gemessen. Die Bunttonwinkel sind 0° für Rot, $+a$, 90° für +b, also gelb, 180° für -a, grün und 270° für -b, also blau. [13]

2.4 Vergleichende Farbbestimmung in der Zahnheilkunde

Eine Schwierigkeit in der alltäglichen zahnärztlichen Praxis stellt dar, für einen Zahnersatz die passende Farbe auszusuchen.

Schon CLARK beschrieb die heute noch gängige Methode der Zahnfarbenauswahl bereits in den Jahren 1931 und 1933 [7, 8], daran hat sich bis heute im täglichen Praxisablauf nichts Grundlegendes geändert. Dabei wurde und wird immer noch der zu versorgende Zahn mit einer konfektionierten Farbmusterreihe verglichen. Der Betrachter entscheidet dabei nach subjektiven Gesichtspunkten, welcher Vergleichszahn der Farbe des zu versorgenden Zahnes entspricht. Dabei ist die aussuchende Person in der Regel nicht speziell in Farbenlehre oder in einer anderen Art und Weise auf Farbbestimmung eingestellt oder ausgebildet, obwohl es Verfasser gibt, die eine derartige Ausbildung im Laufe eines Studiums fordern [45]. Die Ergebnisse können aus verschiedenen Gründen sehr stark variieren.

Es ist in der Literatur beschrieben, dass verschiedene Personen ein und denselben Zahn in der Farbe sehr unterschiedlich einschätzten, ja dass sogar ein und dieselbe Person denselben Zahn an unterschiedlichen Tagen unterschiedlich einstufte [10]. Die Umstände, unter denen die Farbe ausgesucht wird, spielen dabei eine große Rolle; zum einen die Lichtverhältnisse in der Praxis, in der die Farbe ausgesucht wird, zum anderen die Beleuchtung in dem Labor, in dem der Zahnersatz hergestellt wird.

Ein weiteres Problem ergibt sich auch aus der Tatsache, dass Farbtöne aus Farbringen, die mit gleichen Bezeichnungen von unterschiedlichen Herstellern angefertigt werden, durchaus messbare Unterschiede aufweisen [40].

Weitere Faktoren, die eine Zahnfarbe bei deren Auswahl beeinflussen können, sind die Farbe der Wände, das einfallende Tageslicht, die Kleidung des Patienten und der Blickwinkel auf den Zahn [44].

Auch können Medikamente die Farbtüchtigkeit eines Betrachters beeinflussen. So wird beschrieben, dass hormonale Kontrazeptiva dies bewirken [2]. Unabhängig davon werden bei etwa 8 % der Männer und < 1 % der Frauen Farbfehlsichtigkeiten angenommen [35].

Um durch den Metamerieeffekt das Ergebnis möglichst wenig verfälschen zu lassen, sollten Zahnarzt und Zahntechniker dasselbe Licht verwenden, auch sollte die Farbe unter verschiedenen Lichtquellen bestimmt werden. Man kann, um dem Zahntechniker nicht nur eine Farbangabe mitzuteilen, die er dann anwendet, diesen auch direkt mit dem Patienten zusammenbringen, um Ungenauigkeiten bei der Informationsübermittlung zu vermeiden.

Zahnfarbringe, die als Vergleichsmittel herangezogen werden, entsprechen zudem selten dem Zustand einer Verblendung, da sie meistens aus vollständigen, kompakten Zähnen bestehen, der anzufertigende Zahnersatz beispielsweise aber eine Verblendarbeit ist und somit der gesamte Farbeindruck sich, obwohl die Farbe die im Farbvergleich festgestellte Farbe ist, sehr vom Vergleichszahn unterscheidet. Dabei wird also ein Musterzahn neben einen möglichst natürlichen oder zumindest maßgebenden Zahn gehalten. Dabei wird eine Farbe bestimmt, die dann einem Verblendzahn natürliches Aussehen verleihen soll. Es wurde auch festgestellt, dass die Farbringe verschiedener Hersteller untereinander verschiedene Angaben über einen und denselben Zahn machten [20]. Dies erhöht nicht gerade die Reproduzierbarkeit der Angaben, die der Zahnarzt dem Zahntechniker übermittelt.

Selbst das menschliche Auge ist, im Gegensatz zu speziell entwickelten Instrumenten, nur bedingt in der Lage, sehr kleine Farbunterschiede zu erkennen. In der Literatur sind hierzu unterschiedliche Angaben zu finden, inwieweit das menschliche Auge einen unterschiedlichen ΔE -Wert noch unterscheiden kann.

SEGHI beschrieb, dass ein ΔE -Wert gleich oder größer 2 von allen der an einer Studie beteiligten Testpersonen erkannt wurde. Bei Farbänderungen mit ΔE -Werten zwischen 1 und 2 erhöhte sich in dieser Untersuchung die Zahl derer, die den Farbunterschied nicht mehr erkennen konnten. Unter $\Delta E = 1$ wurden die Zahl der den Unterschied nicht mehr erkennenden Personen noch viel höher [39].

Ähnlich beschreibt RUYTER die Grenze der Wahrnehmung eines Farbunterschiedes für das menschliche Auge ab $\Delta E = 1$ oder größer. Als akzeptablen Farbunterschied werden Werte bis zu $\Delta E = 3,3$ angegeben [6].

Für das Maß der akzeptablen Verfärbung eines im zahnmedizinischen Bereich eingesetzten Kunststoffes könnte auch die Grenze der Erkennbarkeit einer Verfärbung in der Mundhöhle eine interessante Maßzahl sein. Diese wird von PEUTZFELD oberhalb $\Delta E = 7$ angegeben [32].

2.5 Objektive Farbmessung

Alternativ zum Vergleich des zu versorgenden Zahnes mit einer konfektionierten Farbskala kann man anhand eines Farbmessgerätes die Zahnfarbe bestimmen. In der Laborsituation ist sie eine angewandte Methode zur Beurteilung von Materialeigenschaften [3]. Diese Methoden sind jedoch schwierig auf die Praxissituation zu übertragen.

Ein Gerät, das aufgrund eines kleinen Messfeldes für diesen Einsatz erwähnt wurde, ist das Gerät Castor (Fa. Nordmeditech, Flensburg). Ein Probekörper wird dabei mit Licht des sichtbaren Wellenlängenbereichs bestrahlt, das reflektierte Spektrum in 512 Frequenzbereiche zerlegt. So wie es das von Zeiss entwickelte Simultanspektrometer vornimmt. Die Intensitäten der einzelnen Frequenzbereiche werden dann entsprechend ihrer Verteilung in Lab-Werte umgerechnet. Somit hat man das gesamte erfasste Spektrum in die wenigen Kenndaten Lab umgerechnet [43] und kann somit objektiv Farbwerte miteinander vergleichen [25]. Allerdings wurde dem Gerät gegenüber anderen Farbmessgeräten eine große Messwertstreuung nachgewiesen [14].

Diese Art der Messung ist aber in ihrer zu erwartenden Exaktheit limitiert. Die Parameter, die die Messung erschweren, sind Fluoreszenz, Metamerie, unterschiedliche Oberflächenbeschaffenheiten, unterschiedliche Materialsichtung, Transluzenz, die geringe Größe des zu messenden Körpers und dessen unregelmäßige Form und die Tatsache, dass man das Messgerät unter Umständen nicht nahe genug an den zu messenden Zahn bekommt [44].

Zusätzlich wird bei der Farbmessung eines Zahnes nicht immer dieselbe Stelle gemessen. Das wirkt sich auf die Reproduzierbarkeit der Farbe negativ aus, weil auf einer Zahnoberfläche, je nachdem, welchen Bereich man misst, starke Farbunterschiede zwischen den einzelnen Bereichen - zwischen inzisal und zervikal beispielsweise - auftreten können [20]. Allerdings wurde auch bereits ein Verfahren von SETZ und ENGEL vorgestellt, welches die Farbe von Verblendkunststoffen auch in vivo messen kann [42].

2.6 Verfärbungen

2.6.1 Innere Verfärbungen

Der Grund, weshalb man Verblendmaterialien anwendet, ist, dem Zahnersatz möglichst naturgetreues Aussehen zu verleihen. Es ist daher unerwünscht, wenn sich die optischen Eigenschaften der Verblendung ändern, insbesondere, wenn die Farbe nicht mehr stimmt.

Dazu können verschiedene Umstände führen:

Durch chemische Prozesse kann sich die Kunststoffstruktur ändern, was durch unverbrauchte Initiatoren geschehen kann [47]. Diese stellen zwar nur etwa 0,5 % des Kunststoffes dar, sind aber für die Farbstabilität entscheidend. Bei den selbsthärtenden Materialien ist besonders das tertiäre aromatische Amin (N, N- Bis (2-Hydroxyethyl)-p-toluidin) für die gegenüber den lichthärtenden Materialien schlechtere Farbstabilität verantwortlich.

Unter Lichteinfluss im Bereich unter 400 nm, zum Beispiel unter starker Sonneneinstrahlung, aber auch unter Wärmeeinwirkung, führt ein Nebenprodukt, das während der Reaktion des tertiären aromatischen Amins gebildet wird, zu deutlichen Gelbverfärbungen.

Bei lichthärtenden Kunststoffen ist diese Gelbfärbungsneigung weniger stark ausgeprägt. Zum einen liegen die verwendeten aromatischen und aliphatischen Amine in geringerer Konzentration vor als das tertiäre Amin der selbsthärtenden Kunststoffe, zum anderen ist es weniger reaktionsfreudig. Gelbfärbung verursacht hierbei jedoch ein anderer Stoff, der zur Aushärtung gebraucht wird: Kampferchinon. Dieser Stoff hat eine intensive gelbe Eigenfarbe; er absorbiert Licht der Wellenlänge 460 nm. Somit kann er gut durch Licht zur Radikalbildung angeregt werden, seine Eigenfarbe verleiht dem unpolymerisierten Kunststoff jedoch eine Gelbfärbung, die nach dem Vernetzen in einen neutralen Farbton übergeht. Wird der Kunststoff nun nicht genügend ausgehärtet, so wird er einen Gelbstich behalten, der langsam durch Einwirkung des Tageslichts, wodurch das unverbrauchte Kampferchinon weiter umgesetzt wird, verschwindet. Man kann dieses nachträgliche Ausbleichen des Materials jedoch verringern, indem man den Kunststoff möglichst vollständig aushärtet, also das Kampferchinon möglichst vollständig umsetzt [19].

Auch das Verhältnis zwischen Amin und dem vorhandenen Benzoylperoxid wird als Ursache für interne Farbänderungen genannt. Je mehr Amin pro Peroxid vorhanden ist, desto deutlicher wird eine Gelbverfärbung, was eine Rolle bei der Lagerung von Kompositen spielt, da sich das Benzoylperoxid im Laufe der Zeit oder bei zu warmen Temperaturen allmählich abbaut und somit der Amingehalt verhältnismäßig steigt, wodurch eine interne Gelbverfärbung entsteht.

Ein weiterer Faktor, der die interne Farbstabilität beeinflusst, ist der Gehalt an Bis-GMA. Je höher der Gehalt von Bis-GMA im Monomer des Komposites, desto geringer war die interne Verfärbungsneigung. Mikrogefüllte Komposite müssten demnach eher verfärbbar sein, da sie einen geringeren Bis-GMA-Anteil enthalten, was durch eine Studie gezeigt werden konnte [43], andererseits sind ihre Oberflächen gut polierbar, wodurch sie wiederum weniger zu Verfärbungen neigen als etwa makrogefüllte Materialien.

Tatsächlich wird in einer Studie gezeigt, dass mikrogefüllte Komposite gegenüber konventionellen Kompositen geringere Erosionseffekte aufweisen, die wiederum als Ursache der stärkeren Verfärbungen angenommen werden [34].

2.6.2 Oberflächenverfärbungen

Die oberflächlichen Verfärbungen werden vor allem durch die Beschaffenheit der Oberfläche beeinflusst. Die Anlagerung und Einlagerung von farbverändernden Stoffen sollte durch eine gute Politur verringert werden. Mikrogefüllte Komposite sind hierbei offensichtlich im Vorteil, makrogefüllte aufgrund ihrer Rauigkeit weniger günstig.

Weiterhin beschrieben ist auch der Effekt der Oberflächenerweichung auf das Farbverhalten. Es ist festgestellt worden, dass Propionsäure und auch Essigsäure die Oberfläche des Komposits erweichen und sich somit verfärbende Substanzen leichter einlagern können. Diese Erweichung war umso stärker, je höher der Bis-GMA-Gehalt des Kunststoffes war, somit stieg mit dem Bis-GMA-Anteil im Monomer die Verfärbungsneigung unter diesen Bedingungen [1]. Sowohl Propionsäure als auch Essigsäure entstehen in der bakteriellen Plaque, somit liess sich auch die klinische Beobachtung deuten, dass plaquebesiedelte Kunststoffe in der Regel stärker verfärbt wurden.

Generell wurde eine erhöhte Plaqueanlagerung an Verblendkunststoffen festgestellt, die der Verschlechterung der Oberflächenstruktur, mechanischen Läsionen und einer gewissen Alterung zugeschrieben wurde [23]. Des weiteren bestimmt die Abrasionsfestigkeit die Verfärbungsneigung eines Verblendkomposits. An einer optimal polierten Oberfläche lagern sich weniger Plaquereste ab als an einer rauhen, jedoch kann es durch Abrasionen zu Mikrorauigkeiten kommen, wodurch es zu verfärbenden Auflagerungen kommen kann.

Hierbei sind die Keramikverblendungen den Kunststoffverblendungen deutlich überlegen, da durch geringe Abrasion sich weniger Plaque abgelagert [4] und somit eine geringere Verfärbungsneigung besteht.

Der Zusammenhang zwischen Wasseraufnahme und der dadurch resultierenden Verfärbung wurde vielfach beschrieben, da man davon ausging, dass dort, wo Wasser einzudringen vermag, auch verfärbende Substanzen einzudringen vermögen. Umso höher der Füllkörperanteil ist, so wurde gezeigt, desto geringer ist die Wasseraufnahme [31]. Bis auf wenige Ausnahmen, bei denen durch Lagerung in Wasser eine Farbveränderung gezeigt werden konnte [9, 32], konnte die These nicht gestützt werden [17, 41,].

Beschriebene Substanzen, die in den Kunststoff einzudringen vermögen oder aufgelagert verfärben können, sind Rotwein, Kaffee, Tee, Sesamöl, Curcumin und diverse andere in Lebensmitteln vorkommende Substanzen, aber auch Zigarettenrauch und UV-Strahlung [6, 29, 36, 46].

Auch Speichel ist in gewisser Weise für Verfärbungen von Verblendkunststoffen verantwortlich [21], jedoch ist es schwierig, eine verbindliche In-Vitro-Versuchsreihe durchzuführen, wenn man die dadurch bedingte Verfärbbarkeit von Kompositen nachweisen will [49].