

6 Diskussion

6.1 Praktische Durchführung

Diese Untersuchung hatte zum Ziel, vergleichende Aussagen über die Verfärbungsneigung bestimmter Materialien zu liefern. Somit musste zum einen die Methode soweit vereinfacht werden, dass eine einheitliche Behandlung und Untersuchung der Materialien möglich ist, andererseits musste man durch die Vereinfachung von realitätsnäheren Situationen abweichen.

Zu einigen Teilen der praktischen Durchführung der Versuche konnte das Risiko einer Beeinträchtigung der Genauigkeit durch die Handhabung nicht völlig ausgeschlossen werden. Die Handhabung erfolgte jedoch so exakt wie möglich, um dieses Risiko zu minimieren. Dazu zählt zum einen die Anfertigung der Prüfkörper, die durch Kneten und Einpressen des Materials in eine Form die Gefahr barg, Lufteinschlüsse oder Verunreinigungen in das Material einzumischen, was wiederum Messungenauigkeiten zur Folge gehabt haben könnte. Diese Ungenauigkeiten existieren allerdings dementsprechend auch in der praktischen Anwendung des Materials, was die Messergebnisse wiederum auf die Praxis übertragbar macht.

Ein weiterer Punkt, der die Ergebnisse entscheidend beeinflussen kann, ist die Oberflächenbeschaffenheit des Prüfkörpers, der keine Sauerstoffinhibitionsschicht mehr haben sollte und auch eben und glänzend entsprechend der verwendeten Abdeckfolie sein sollte. Im Ablauf der Versuche konnte die O₂-Inhibitionsschichtfreie Oberfläche jedoch durch Abheben der Kunststoffolie vor dem Polymerisationsvorgang oder währenddessen beschädigt werden, was sich im Laufe des Versuches in einer verstärkten Verfärbungsneigung in Randregionen des runden Prüfkörpers zeigte. Allerdings wurde nur in einwandfreien Oberflächenregionen gemessen, was allein schon durch die Konstruktion des Messgerätes gegeben war, die Messungen nur in einem definierten inneren Bereich des kreisrunden Prüfkörpers zuließ.

In der praktischen Anwendung eines solchen Materials verhindert man dieses Problem entweder durch Abtragen der O₂-Inhibitionsschicht des bereits polymerisierten Kunststoffes durch Schleifkörper mit anschließender Politur oder man verwendet auch „Airblock“, ein Glyceringel, das Sauerstoff von der noch nicht polymerisierten Kunststoffoberfläche fernhält. Aus demselben Grund spielte auch der Randbereich, an dem der Prüfkörper am Boden des Bechers befestigt war und auf welchen die verfärbenden Lösungen keinen Einfluss hatten, da die Oberfläche dieses Bereiches von Befestigungskunststoff bedeckt war, für die Messungen keine Rolle.

Eine weitere Ungenauigkeit eines Arbeitsschrittes bestand in der Behandlung der Prüfkörper nach der Entnahme aus der verfärbenden Lösung, um sie dann im Messgerät zu messen. Die Prüfkörper wurden einmal pro Seite mit einem Zellstofftuch abgewischt, jedoch ohne zu großen Druck anzuwenden.

In diesem angewandten Druck liegt nun auch die Ungenauigkeit, da es für möglicherweise aufgelagerte Partikel entscheidend ist, wie fest eine Oberfläche abgewischt wird. Dabei unterschied sich der Abtrag durch den Zellstoff von Flüssigkeit zu Flüssigkeit teils erheblich. Beispielsweise wischte man bei den in Kaffee oder in Tee gebadeten Prüfkörpern nicht nur Flüssigkeitstropfen von der Oberfläche, sondern auch eine recht farbintensive, auf den Prüfkörper aufgelagerte Schicht. Im Gegensatz dazu war bei in Wasser oder in Chlorhexidin gebadeten Prüfkörpern eine solche Schicht nicht zu erkennen. Deutlich wurde dieser Unterschied auch in der Verfärbung des Zellstofftuches nach dem Wischen. Dieser Vorgang unterlag nun auch der manuellen Geschicklichkeit der durchführenden Person, die möglichst einheitlich alle Prüfkörper zum Messen vorbereiten musste, indem sie einmal pro Seite mit einem Zellstofftuch die Oberfläche abwischte.

Es wäre ein interessantes Thema - welches diese Studie sinnvoll ergänzen würde - diese Schicht mit maschinell simuliertem Zähneputzen zu entfernen, um eine exaktere Übertragbarkeit auf die klinische Situation zu erreichen. Dabei würde die oben erwähnte Problematik des Abwischens der Prüfkörper entfallen und der abrasive Effekt der Zahnbürste in Verbindung mit der schleifkörperhaltigen Zahnpasta könnte die Farbveränderung im Laufe einer solchen Versuchsreihe möglicherweise positiv beeinflussen.

Autoren, wie beispielsweise RUYTER, führten einen ähnlichen Versuch durch, jedoch wurden die Prüfkörper der Verblendkunststoffe dabei in einer auf 50 °C temperierten, verfärbenden Flüssigkeit, im einzelnen ebenfalls Tee und Kaffee, gelagert. Die Wahl einer höheren Temperatur hat einerseits eine größere Distanz zu den klinischen Verhältnissen zur Folge, da die Temperatur in der Mundhöhle etwa 35 °C beträgt. Die klinische Relevanz ist bedeutend für die Wertigkeit einer solchen Untersuchung. Andererseits können, wenn es sich um eine rein vergleichende Studie der Materialien untereinander handelt, deutlichere

Ergebnisse aufgrund der erhöhten Temperatur erwartet werden, da eventuelle Reaktionen der verwendeten Materialien untereinander dadurch intensiviert werden. Was den Aufbau und die Positionierung der Prüfkörper betrifft, so wurden sie von anderen Autoren, ohne die Prüfkörper am Boden eines Gefäßes zu befestigen, mit Cyanoacrylat an einem Stück Zahnseide befestigt, um sie daran in die verfärbende Flüssigkeit eintauchen zu lassen [9]. Ähnliches wurde bei dieser Studie auch erwogen, jedoch bringt diese Methode gegenüber der hier durchgeführten Methode, dass pro Gefäß mit verfärbender Flüssigkeit nur eine geringere Menge an Prüfkörpern eingetaucht werden könnte, da sich die Schnüre je nach deren Länge und nach Umrührintensität der Flüssigkeit verknoten könnten, was die Durchführung durchaus erschweren würde.

Eine weitere Variation der Versuchsdurchführung, wie sie von STOBBER durchgeführt wurde, wäre die Bearbeitung der Oberfläche der Prüfkörper nach dem Aushärten gewesen [46]. Dies stellt durchaus eine Annäherung an den klinischen Ablauf der Verarbeitung eines Komposits dar.

Eine übliche, ausführliche statistische Auswertung der einzelnen Messwerte wurde nicht durchgeführt, da die Anzahl der Messungen pro angegebenen Wert geringgehalten wurde. Ein Prüfkörper wurde 4 mal gemessen und daraus direkt vom Bearbeitungsprogramm des Messgerätes ein Ergebniswert errechnet. Dennoch zeigen die ermittelten Daten Tendenzen auf, die Rückschlüsse auf die Materialien und die Auswirkungen der verfärbenden Flüssigkeiten zulassen.

6.2 Diskussion der Messergebnisse

Der Titel dieser Arbeit gibt bereits die Fragestellung vor, ob und in welchem Masse die als verfärbende Substanzen eingestuften Flüssigkeiten die zu untersuchenden Verblendkunststoffe tatsächlich unter den gegebenen Bedingungen verfärben.

Bei Betrachtung der ermittelten ΔE -Werte lässt sich dies annehmen, obgleich sich je nach Kombination der verwendeten Kunststoffe mit der entsprechenden Flüssigkeit teilweise deutliche Unterschiede in der Intensität zeigen lassen. Die grundsätzliche Erkenntnis dieser Untersuchung deckt sich mit den Ergebnissen von Untersuchungen anderer Autoren, die entweder ähnliche verfärbende Flüssigkeiten verwendeten, um deren Verfärbungsneigung zu untersuchen [29], oder sogar - wie beispielsweise STÖBER - entsprechende Kombinationen von verfärbenden Flüssigkeiten mit Verblendkunststoffen unter verschiedenen Konditionen und verschiedener Verarbeitung untersuchten.

Die Erwartung, dass mit zunehmender Dauer der Lagerung der Prüfkörper in den verfärbenden Lösungen auch die gemessenen ΔE -Werte steigen, lässt sich überwiegend bestätigen, allerdings treten hierbei Ausnahmen auf. Im einzelnen sind dies der Kunststoff Targis in löslichem Kaffee und Rotwein, Dentacolor in Rotwein, Tee und Wasser, Compoplus und Solidex in Sesamöl sowie Artglass in der Chlorhexidinlösung. Die Ausnahme der erwähnten Kunststoff-Flüssigkeitskombinationen besteht darin, dass sich die die Verfärbung darstellenden ΔE -Werte zwischen zwei Messungen in diesen Fällen wider Erwarten verringert haben. Diese eigentlich nicht zu erwartenden Verringerungen sind allerdings so gering (im Bereich weniger hundertstel ΔE -Einheiten), dass sie als Messungenauigkeiten zu deuten sind. Somit sind sie nicht als Widerlegung der These zu deuten, dass mit zunehmender Dauer der Lagerung von Prüfkörpern in verfärbenden Flüssigkeiten deren Verfärbung zunimmt.

Es wurde von verschiedenen Autoren beschrieben, welche ΔE -Werte für das menschliche Auge als unterschiedlich zu differenzieren sind. So wurde von einer Grenze zwischen 1 und 2 ΔE -Einheiten berichtet, die als Grenze des „visuell wahrnehmbaren“ erkannt wurde [39], ebenso von einer Grenze des „visuell akzeptablen“ Farbunterschiedes von $\Delta E = 3,3$ [6]. Zusätzlich wurde eine Grenze des in der Mundhöhle nicht mehr akzeptablen Farbunterschiedes von $\Delta E = 7$ oder größer genannt [32].

Legt man zur Diskussion dieser Untersuchung die Grenze bei $\Delta E = 3,3$ an, so ist zu erkennen, dass durchaus einige Male dieser Wert erreicht und überschritten wurde, d.h., dass für das menschliche Auge deutlich erkennbare Verfärbungen auftraten.

Als Kunststoffe mit demnach offenbar geringer Verfärbungsneigung ließen sich Dentacolor und Targis einordnen. Sämtliche von den sieben verfärbenden Flüssigkeiten erzielten Farbunterschiede waren noch unter $\Delta E = 2,5$. Verfärbende Substanzen können sich demnach bei diesen Verblendkunststoffen schlechter ein- oder auflagern als bei den anderen Verblendkunststoffen.

Die Verblendkunststoffe Solidex und Compoplus fielen dagegen mit teilweise enorm hohen ΔE -Werten auf. Erzielt wurden dabei $\Delta E = 9,84$ bei Solidex, verursacht durch Filterkaffee, und $\Delta E = 5,05$ bei Compoplus, ebenfalls verursacht durch Filterkaffee.

Was abgesehen von den sehr hohen Verfärbungswerten bei diesen beiden Verblendkunststoffen ebenfalls auffällt ist, dass die Spanne zwischen dem geringsten von einer verfärbenden Flüssigkeit verursachten Wert und dem höchsten Wert sehr hoch ist. Im Falle von Solidex sind zwischen dem Wert, den destilliertes Wasser erzielt, $\Delta E = 0,97$, und dem Wert des Filterkaffees, $\Delta E = 9,84$, fast 9 ΔE -Einheiten Unterschied. Derartig hohe Werte wurden nur von den beiden Kaffeearten in Verbindung mit Solidex beobachtet. Sie färbten alle Verblendkunststoffe eher zum Gelben hin, Solidex verfärbte jedoch am stärksten. Die verfärbenden Moleküle des Kaffees können sich demnach bei dem Kunststoff Solidex unter den gegebenen Umständen besser als bei anderen Kunststoffen ein- oder auflagern.

Die Verfärbungsneigung des Kaffees zum Gelben hin wird auch von STOBBER bestätigt, jedoch nicht in dem auffälligen Maße wie hier beschrieben. In dessen Untersuchung war, im Gegensatz zu dieser Untersuchung, Rotwein die Flüssigkeit, die durchaus die stärksten Verfärbungen verursachte [46]. Dabei erreichte Rotwein enorm hohe Werte; bis zu $\Delta E = 20$ und darüber. Dies ist erstaunlich, da die Prüfkörper, ähnlich dieser Untersuchung, nach dem Herausnehmen aus der Flüssigkeit ebenfalls mit Zellstoff abgewischt und vorher sogar noch mit Ultraschall behandelt wurden. Andere Autoren erzielten bei Rotwein weniger herausragende Werte, eher entsprechend denen von Sesamöl, wie es in einer Untersuchung von MANHART beschrieben wurde [29]. Dies entspricht tendenziell auch den hier gemessenen Ergebnissen.

Zwischen den erwähnten Untersuchungen bestanden allerdings Unterschiede im Versuchsaufbau. Es wurde einmal bei 37 °C , statt hier 35 °C , gemessen, und es wurde bei MANHART nur nach einem Zeitraum von 7 Tagen gemessen, bei STOBBER sogar bis zu 8 Wochen. Ob diese unterschiedlichen Parameter die unterschiedlichen Tendenzen in den Ergebnissen erklären, ist fraglich.

Ein weiterer Vergleich, der angestellt werden kann, ist der, ob ein Unterschied in der Verfärbungsneigung zwischen den hydrophilen und der lipophilen, verfärbenden Flüssigkeit, Sesamöl besteht. Hierbei waren keine grundlegenden Unterschiede zu erkennen. Dies

entspricht in etwa auch der Tendenz der Ergebnisse von MANHART, der auch Sesamöl in seine Untersuchung mit einbezog.

Zum weiteren Vergleich wurden die Prüfkörper in destilliertem Wasser gelagert, welches nicht die verfärbenden Moleküle beinhaltet wie die übrigen verwendeten verfärbenden Flüssigkeiten. Dennoch sind auch hierbei Farbänderungen zu dokumentieren zwischen $\Delta E = 0,38$ und $\Delta E = 1,73$. Diese Werte entsprechen etwa den erreichten Werten der Untersuchungen von STOBER und MANHART, bei denen die Hälfte der Proben in destilliertem Wasser einen ΔE -Wert von über 1 ergaben, während die anderen Werte zwischen $\Delta E = 0,22$ und $\Delta E = 0,54$ lagen.

Ob die Wasseraufnahme die Farbveränderung verursacht, ist fraglich. Ein Zusammenhang zwischen Wasseraufnahme und Verfärbung ist für Ethylenglycoldimethacrylate dokumentiert [42]. Diese Stoffgruppe ist nur in dem von uns untersuchten Verblendkunststoff Solidex enthalten. Die unterschiedliche Verfärbung der untersuchten Kunststoffe ist demnach mit der Wasseraufnahme allein nicht zu erklären.

Eine weitere Überlegung bezüglich der Art und Weise der Verfärbung, die die Flüssigkeit bei dem Verblendkunststoff verursacht, ist anzustellen, und zwar, ob die Molekülstruktur des Kunststoffes durch die Lagerung in der Flüssigkeit verändert wird und somit die Farbveränderung entsteht oder ob die Moleküle der verfärbenden Flüssigkeiten sich in den Verblendkunststoff einlagern und durch ihre Eigenfarbe die entstandene Farbveränderung verursachen. Beispielhaft lässt sich nach der Lagerung der Verblendkunststoffe in den beiden Kaffeesorten, die eine gelbbraune Eigenfarbe besitzen, eine nahezu durchweg positive Veränderung des Δb - Wertes erkennen, was auf eine Farbveränderung zum Gelben hindeutet (siehe Tabellen im Anhang). Abweichungen von dieser Regel sind in der Größenordnung weniger hundertstel Δb -Einheiten. Sie sind somit eher als Messungenauigkeiten zu deuten. Ebenso lässt sich bei Rotwein als Beispiel einer verfärbenden Flüssigkeit mit einer intensiv roten Eigenfarbe beobachten, dass der Δa -Wert, der auf eine Veränderung zum Roten oder Grünen hindeutet, nahezu durchweg positiv ist, was eine, wenn auch meistens geringe, Veränderung zum Roten bedeutet. Auch hierbei gibt es Ausnahmen, die einen negativen Δa -Wert aufweisen, diese sind jedoch ebenfalls im Bereich weniger hundertstel Δa -Einheiten und somit äußerst gering (siehe Tabellen im Anhang). Wie die Beispiele Rotwein und Kaffee zeigen, liegt es nahe anzunehmen, dass die verfärbenden Substanzen durch Ein- oder Auflagerung ihrer farbgebenden Moleküle in den Verblendkunststoff die Verfärbungen verursachen.

6.3 Übertragbarkeit auf die klinische Situation

Ziel dieser Untersuchung war es, Verfärbungen von Verblendkunststoffen, wie sie während des Gebrauchs dieser Materialien vorkommen, auf eine Versuchssituation zu übertragen und einen Vergleich der Materialien als auch der Auswirkungen der verfärbenden Substanzen anstellen zu können.

Einige Parameter wurden hierbei jedoch nicht berücksichtigt, was lediglich einen Vergleich der verwendeten Substanzen zulässt, was sich aber auf den klinischen Fall dann jedoch nur bedingt übertragen lässt.

Zum einen ist die Temperatur, bei der die Prüfkörper in das Medium eintauchen werden, einheitlich auf 35 °C festgelegt worden, was etwa der Temperatur der Mundhöhle entspricht. Im Falle der Mundspüllösung Chlorhexidin mag das realitätsnah sein, Kaffee und Tee jedoch dürften eine weit höhere Temperatur zum Zeitpunkt des Umspülens der Zähne haben, im Falle des Rotweins eine weit niedrigere.

Zusätzlich ist die Dauer der Umspülung der Prüfkörper mit verfärbender Flüssigkeit auf permanent vereinheitlicht worden, was der realen Situation sicher nicht exakt entspricht.

Ein weiterer Unterschied zur eigentlichen klinischen Situation besteht darin, dass alle verwendeten verfärbenden Flüssigkeiten über einen Zeitraum von 4 Wochen den Prüfkörper umspülten. Es wurde, um den Kaffee als Beispiel zu nennen, nicht differenziert zwischen frisch hergestellten Nahrungsmitteln und über einige Tage abgestandenen Nahrungsmitteln, die eventuell ihre verfärbende Wirkung verändern, ausflocken oder ob sich Niederschlag durch sie bildet.

Zudem könnten noch chemische Reaktionen zwischen den verfärbenden Flüssigkeiten und den Prüfkörpern im Falle dieser Untersuchung anders verlaufen als in der klinischen Situation, da die Konzentration der verfärbenden Flüssigkeit im Mund durch die Verdünnung und Umspülung mit dem Speichel geringer ist und dieser zusätzlich als Puffer wirken könnte oder die Substanzen in deren Struktur verändern könnte.

Ein weiterer Faktor ist die Tatsache, dass die Einwirkung des Speichels selbst [21] auf die verfärbenden Substanzen nicht genauer untersucht wurde, da es schwierig ist, exakte Bedingungen zu schaffen, um zu vergleichbaren Werten zu gelangen.

Gleiches gilt für die Auswirkungen von Tabakrauch auf die Farbeigenschaften der Materialien. Aus praktischer Erfahrung in der zahnärztlichen Praxis ist anzunehmen, dass dies ebenfalls eine weit verbreitete Ursache für Farbveränderung an Zähnen darstellt.