

The Discoloring Effects of Food on the Color Stability of Esthetic Brackets – an In-vitro Study

Der Einfluss färbender Nahrungsmittel auf die Farbbeständigkeit ästhetischer Brackets – eine In-vitro-Studie

Susanne Wriedt, Ulf Schepke, Heiner Wehrbein¹

Abstract

Aim: The purpose of this study was to investigate the discoloring effect of certain foods on the color stability of esthetic brackets made of different materials.

Material and Methods: Ten specimens of six different tooth-colored brackets were immersed for 10 days at 37 °C in various solutions (de-ionized water, tea, coffee, red wine, orange juice, curry and cress) or exposed to accelerated photo-aging (150 KJ/m², 340 nm). Using the Easyshade® device, the brackets were analyzed at the beginning of the experiment and after ultrasound-cleaning daily thereafter for ten days according to CIELCh coordinates lightness, chroma and hue. Our results were evaluated using the SPSS-12.0 statistical program and subjected to the Kruskal-Wallis and/or Mann-Whitney U tests.

Results: The results can be divided into three types of reactions. The brackets exposed to UV light, cress or orange juice showed no visible discoloration. The measured color differences remained in the same range as the measurements for brackets in the control group. All brackets immersed in red wine, tea or coffee showed similar reactions, with a sharp increase in discoloration after 5 days (corresponding to high consumption). In the curry solution, the brackets made of polyoxymethylene became immediately discolored; all other bracket types showed no visible reaction.

Conclusions: This in-vitro test can only simulate the actual intra-oral situation, but the results seem to demonstrate that the consumption of certain foods greatly influences to what extent the color of tooth-colored brackets changes.

Key Words: Discoloration · Color stability · Tooth-color measurement · Bracket · Food · Esthetics

Zusammenfassung

Fragestellung: In einem In-vitro-Versuch sollte die Farbbeständigkeit der verschiedenen ästhetischen Brackets auf verfärbende Nahrungsmittel überprüft werden.

Material und Methodik: Je zehn Brackets sechs verschiedener zahnfarbener Brackets wurden über 10 Tage bei 37 °C in verschiedenen Lösungen (Aqua dest., Tee, Kaffee, Rotwein, Orangensaft, Curry, Kresse) gelagert oder der Lichtalterung (150 KJ/m² bei 340 nm) ausgesetzt. Mit dem Gerät Easyshade® wurden die einzelnen Brackets vor dem Versuch und jeden Tag nach Reinigung im Ultraschallbad hinsichtlich der CIELCh-Koordinaten Helligkeit, Farbin-tensität und Farbton analysiert. Die erhobenen Werte wurden mit dem Statistikprogramm SPSS 12.0 ausgewertet und der Kruskal-Wallis- bzw. Mann-Whitney-U-Test durchgeführt.

Ergebnisse: Die Resultate können in drei verschiedene Reaktionsgruppen eingeteilt werden: Bei der Behandlung mit UV-Licht, Kresse oder Orangensaft zeigte kein Bracket eine sichtbare Verfärbung. Die gemessenen Farbdifferenzen lagen im gleichen Bereich wie die der Kontrollbrackets. Nach Lagerung in Rotwein, Tee oder Kaffee zeigten alle Brackettypen eine ähnliche Reaktion mit einem starken Verfärbungsanstieg nach 5 Tagen (entsprechend einem hohen Konsum). Die Brackets aus Polyoxymethylen verfärbten sich in der Currylösung sofort; alle anderen Brackettypen zeigten keine sichtbare Reaktion.

Schlussfolgerung: Wenn auch dieser In-vitro-Versuch die Situation am Patienten nur simulieren kann, legen die Ergebnisse den Schluss nahe, dass das Ernährungsverhalten der Patienten die Farbstabilität der verschiedenen Brackets stärker beeinflusst.

Schlüsselwörter: Verfärbung · Farbstabilität · Farbmessung · Bracket · Nahrungsmittel · Ästhetik

¹Department of Orthodontics, Johannes Gutenberg University, Mainz, Germany.

Received: October 13, 2006; accepted: March 22, 2007

Introduction

Esthetic brackets become discolored after long wear, even in patients with excellent oral hygiene. The literature contains numerous studies on the color stability of tooth-colored dental filling [2, 6, 9–11] and bracket-bonding materials [3], but there are no studies on the color stability of tooth-colored brackets. The purpose of this study was to investigate the discoloring effect of certain foods on the color stability of esthetic brackets made of different materials.

Material and Methods

Six types of tooth-colored brackets were tested (Table 1): three were made of ceramic materials, and three of various plastics. Ten brackets of each type were immersed in various food solutions at 37 °C for 10 days. Test solutions included orange juice, black tea, red wine, coffee and solutions of curry and cress. Another ten brackets of each type underwent accelerated photo-aging in an irradiation chamber (type UV 7001K), exposed to UV-A-light (315–400nm) at 150 KJ/m². Control groups of ten brackets of each type were stored in de-ionized water, also at 37 °C, for the same duration.

In this study it was not possible to test for the combined effects of numerous foods. Nor could we analyze the cleaning effects of tooth-brushing or saliva.

Color measurements were taken before testing and daily thereafter, following one-minute cleaning and drying of the test brackets using the Sonorex® RK 102 H ultrasound bath (Bandelin electronic, Berlin, Germany), in de-ionized water at 37 °C. No brackets were cleaned with toothbrushes so as to preserve the surface texture of the brackets made of plastic materials. After the 10 day-testing period, the brackets remained in the solutions for another 2 weeks. Photos were taken at day 25 under the same conditions.

The self-calibrating electronic tooth-color measurement device VITA Easyshade® (Vita Zahnfabrik, Bad Säckingen, Germany) was employed to measure tooth color according

Table 1. Brackets used in this study.

Tabelle 1. In der Studie verwendete Brackets.

Nr.:	Name	Company	Material
1	Fascination® 2	Dentaurum	polycrystalline ceramic (Al ₂ O ₃)
2	Aesthetik-Line®	Forestadent®	polycarbonate, reinforced with special fillers
3	Brillant®	Forestadent®	polyoxymethylene
4	Ceramic 20/40 M	American Orthodontics	polycrystalline ceramic
5	Silkon M	American Orthodontics	plastic, reinforced with "ceramic like" fillers
6	Mystique®	GAC	polycrystalline ceramic, silicate slot

Einführung

Selbst bei Patienten mit exzellenter Mundhygiene wird bei längerer Behandlungsdauer immer wieder festgestellt, dass sich ästhetische zahnfarbene Brackets im Laufe der Behandlung verfärben. In der Literatur existieren viele Untersuchungen zur Farbstabilität von zahnfarbenen dentalen Füllungskunststoffen [2, 6, 9–11] und Bracketbefestigungsmaterialien [3], doch keine Untersuchung zur Farbstabilität von zahnfarbenen Brackets. Das Ziel der vorliegenden Studie war es daher, den Effekt färbender Nahrungsmittel auf die Farbbeständigkeit ästhetischer zahnfarbener Brackets zu untersuchen.

Material und Methodik

Es wurden sechs verschiedene zahnfarbene Brackets getestet (Tabelle 1). Drei Serien waren aus Keramik und drei aus verschiedenen Kunststoffen hergestellt. Über einen Zeitraum von 10 Tagen wurden je 10 Brackets von jeder Sorte in verschiedenen Lösungen färbender Nahrungsmittel bei 37 °C gelagert. Als Testlösungen dienten Orangensaft, schwarzer Tee, Rotwein, Kaffee und Aufgüsse mit Curry oder Kresse. Eine weitere Gruppe von je 10 Brackets wurde in einer Bestrahlungskabine vom Typ UV 7001K der beschleunigten Lichtalterung mit UV-A-Licht (315–400 nm) bei 150 KJ/m² ausgesetzt. Je zehn Kontrollbrackets wurden in destilliertem Wasser bei 37 °C über die gleiche Zeit aufbewahrt.

In dieser Studie war es nicht möglich, die additiven Effekte verschiedener Nahrungsmittel zu testen. Auch der Effekt des Zähneputzens und der Effekt durch die speichelbedingte Selbstreinigung wurden nicht untersucht.

Farbmessungen wurden vor Beginn der Untersuchung und jeden Tag nach einminütiger Reinigung der Testbrackets im Ultraschallbad Sonorex® RK 102 H der (Bandelin electronic, Berlin, Deutschland) in Aqua dest. bei 37 °C und nach Trocknung durchgeführt. Um die Oberflächenrauigkeit der Kunststoffbrackets nicht zu verändern, wurde bei allen Brackettypen auf eine Reinigung mit der Zahnbürste verzichtet. Nach dem 10-tägigen Test verblieben die Brackets noch 2 weitere Wochen in den Lösungen und wurden dann am 25. Tag unter identischen Bedingungen fotografiert.

Mit dem Gerät VITA Easyshade® (VITA Zahnfabrik, Bad Säckingen, Deutschland) wurden nach einem Kalibrierungsvorgang innerhalb des Gerätes die Bestandteile der Zahnfarbe hinsichtlich Helligkeit (L), Intensität (C) und Farbton (h) gemessen. Da alle aktuellen Farbmessgeräte für die Messung von Zähnen und Restaurationen mit glatten Oberflächen ausgelegt sind, war es nötig, Standardmessbedingungen für die dreidimensionalen Brackets zu schaffen. Um den Messraum vor einfallendem Licht aus der Umgebung gänzlich zu schützen, wurde für die Easyshade®-Messsonde ein Spezialaufsatz entwickelt (Abbildung 1).

Bei dem Gerät VITA Easyshade® handelt es sich um ein Spektrophotometer, das unter Verwendung einer D65-Lichtart (Farbtemperatur von 6500 Kelvin; ein mathema-

to the qualities of lightness (L), chroma (C), and hue (h). All color-measuring devices are currently only equipped to measure dental surfaces and restorative work. It was thus necessary to create standard measurement criteria for three-dimensional brackets. This is why a special external shade for the Easyshade[®] measuring probe was developed to thoroughly shield the area to be measured from external light (Figure 1).

The VITA Easyshade[®] is a spectrophotometer which captures the LCh color range coordinates of any color using a D65 illuminant (color temperature 6500 °Kelvin – a mathematical construct equivalent to average daylight in the northern hemisphere) and a viewing angle of 2° (preferable to a 10° viewer for an object as small as a tooth). Whereas colorimeters work with color filters, spectrophotometers measure the reflective components of a color at a wavelength ranging from 400 to 700 nm, and convert the data into numeric values. The light is broken down into its spectral components and analyzed. A patented light conductor ensures that the background to the teeth to be measured (dark mouth cavity, tongue contact) has almost no effect on the color measurement [13].

In contrast to the CIElab color space with its Cartesian coordinates, the CIE (Commission Internationale d'Eclairage) LCh color space has a cylindrical coordinate structure. The vertical axis reveals the lightness (brightness, value) L of a color in relation to a set of gray tones as a value between 0% (black) and 100% (white). According to Qualtrough & Burke [7], lightness is the most important component in determining tooth color, as the structure of the human eye makes it better at detecting differences in lightness than in color [5].

Chroma C, defined as the distance from the vertical axis, is the difference between the color and gray tone of the same brightness, i.e. the saturation, purity or intensity of a color expressed as a percentage. The angle of the vector C to the red-green axis indicates hue (h). This hue corresponds to the light's physical wavelength. Red is shown as 0°, yellow at 90°, and green at 180° [13].

Color differences are measured as the Euclidian distance between the two points of measurement in the three-dimensional space, referred to as ΔE . E stands for "Empfindung" (a German word meaning "sensation"), and assumes that identical spatial differences represent the same color differences. The ΔE value gives no information on the direction of the color difference. But the human awareness of difference in color is not only highly subjective, it also depends heavily on the object [1]. Thus a patient might perceive as more deeply discolored a tooth that has a somewhat yellow hue than a tooth that is lighter by the same degree.

Each bracket was measured daily for the parameters L, C, h and ΔE , and compared with measurements from the beginning of the study. The differences were calculated for each bracket so that all data processed represented differences from the zero value, which was used as the baseline value. In a preliminary experiment, we confirmed the repro-

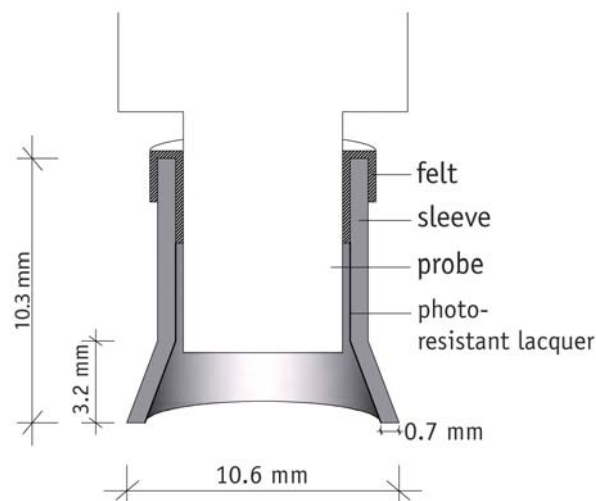


Figure 1. The modification of Easyshade[®] measuring device.

Abbildung 1. Modifikation der Easyshade[®]-Messapparatur.

gisches Konstrukt, das dem durchschnittlichen Tageslicht der nördlichen Hemisphäre ähnelt) und einem Betrachterwinkel von 2° (der bei dem kleinen Objekt Bracket vorteilhafter als ein 10°-Betrachter ist) die LCh-Farbraumkoordinaten der Farbe erfasst. Während Colorimeter mit Farbfiltern arbeiten, messen Spektrophotometer die Reflexionsanteile einer Farbe im Wellenlängenbereich von 400 bis 700 nm und rechnen die Daten in numerische Werte um. Das Licht wird in seine spektralen Komponenten zerlegt und analysiert. Aufgrund eines patentierten Lichtleiters spielt der Hintergrund der zu messenden Zähne (dunkler Mundraum, Zungenkontakt), in diesem Falle der Untergrund der Brackets, kaum eine Rolle für die Farbmessung [13].

Der Farbraum CIE (Commission Internationale d'Eclairage) LCh hat im Gegensatz zum Farbraum CIElab mit kartesischen Koordinaten eine zylindrische Koordinatendarstellung. Die vertikale Achse gibt die Helligkeit (Lightness, Brightness, Value) L einer Farbe in Relation zu einer Reihe von Grautönen als Wert zwischen 0% (schwarz) und 100% (weiß) an. Laut Qualtrough & Burke [7] ist die Helligkeit die wichtigste Komponente für die Bestimmung der Zahnfarben, da das menschliche Auge aufgrund seines Aufbaus eher Helligkeits- als Farbünterschiede wahrnimmt [5].

Unter dem als Abstand zur Vertikalachse definierten Wert Chroma C versteht man den Unterschied zwischen der Farbe und dem Grauton, der die gleiche Helligkeit aufweist, also die Sättigung, Reinheit oder Intensität einer Farbe, angegeben in Prozent. Der Verschiebungswinkel des Vektors C zur Rot-Grün-Achse gibt den Farbton h (Hue) an. Dieser Farbton entspricht der physikalischen Wellenlänge des Lichts. Rot wird als 0° angegeben, Gelb liegt bei 90° und Grün bei 180° [13].

Table 2. Median, minimum, and maximum ΔE values of brackets in cress during testing in relation to the measurement before testing.**Tabelle 2.** Median-, Minimum- und Maximumwerte von ΔE der Brackets in Kresse über die Zeit in Bezug zum Nullwert vor Testung.

Name		Day 1	Day 2	Day 3	Day 4	Day 5	Day 6	Day 7	Day 8	Day 9	Day 10
Fascination® 2	Med	14.9	3.1	3.1	2.2	2.8	2.0	2.6	2.6	3.4	3.1
	Min	7.4	1.2	2.2	1.5	1.5	1.3	1.5	1.8	1.8	2.2
	Max	19.1	8.2	7.0	5.1	5.5	4.8	4.5	5.2	4.5	4.8
Aesthetik-Line®	Med	5.6	3.3	3.9	3.0	2.5	2.7	3.5	3.3	3.8	4.3
	Min	2.4	2.3	3.1	1.8	1.7	2.1	1.7	2.5	2.1	2.9
	Max	10.6	4.6	6.1	5.6	5.9	4.4	5.1	4.7	4.6	5.4
Brillant®	Med	4.3	3.0	3.6	3.3	4.0	3.3	4.8	4.5	5.8	6.2
	Min	3.7	1.5	2.5	1.8	2.4	2.4	2.9	3.7	3.9	3.3
	Max	11.8	4.6	6.0	6.3	5.9	6.4	6.9	6.9	8.2	9.0
Ceramic 20/40 M	Med	14.7	2.9	2.9	1.9	2.0	2.1	2.4	3.2	3.5	3.8
	Min	8.3	1.7	2.2	1.4	1.4	1.2	1.5	2.6	2.7	3.1
	Max	18.1	6.1	7.0	3.6	6.7	5.2	6.9	5.4	3.9	5.2
Silkon M	Med	5.7	4.0	3.8	3.1	2.7	3.6	2.6	2.9	3.4	3.5
	Min	3.3	2.2	2.5	2.3	1.3	1.8	2.2	2.5	2.2	2.9
	Max	6.5	19.2	17.0	17.3	20.0	17.5	17.2	17.9	16.6	15.9
Mystique®	Med	3.6	4.4	4.1	3.7	3.7	3.4	3.6	4.1	3.4	4.2
	Min	2.3	1.3	2.1	1.3	1.4	0.9	1.6	1.9	1.5	2.0
	Max	4.4	8.4	7.3	7.9	6.5	6.5	8.1	6.4	5.6	6.8

ducibility of color measurement at a mean standard-deviation of 0.78% for the L-value, 0.26% for the C-value, and 0.40% for the h-value.

The statistical analysis of the data was carried out using the program SPSS 12.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA). Graphic images emerged from the development of the median changes. Working with continual variables, the sign-test was used to show statistically-relevant tendencies over time in a specific direction.

The group comparison of continual variables was performed on days 1, 5 and 10 using the Kruskal-Wallis test, and the Mann-Whitney U test respectively. One day corresponds to moderate consumption of the tested food, 5 days correspond to high consumption and 10 days correspond to un-naturally high consumption. A correction of p-values was not undertaken. A p-value ≤ 0.05 was considered statistically significant.

Results

The results of this study can be largely divided into three types of reaction. Those brackets treated with UV light, cress, or orange juice demonstrated no visible discoloring effects. The color differences remained in the same statistical range as the color differences of the controls. All brackets stored in tea, coffee, or red wine showed similar reactions, with a sharp increase in discoloration at day 5 (reflecting a high rate of consumption). The polyoxymethylene brackets in curry solution became discolored immediately. All other brackets in curry solution showed no visible reaction. The typical reactions are illustrated using three solutions as examples.

Als Maß für die Farbdifferenz wird der euklidische Abstand im Farbraum (ΔE) betrachtet, der sich im Farbraum aus der Pythagorasformel für die Raumdiagonale errechnet. E steht für Empfindung und geht davon aus, dass gleiche Raumabstände als gleich große Farbunterschiede bewertet werden. Der ΔE -Wert sagt allerdings nichts darüber aus, in welche Richtung sich die Farbdifferenz bewegt. Aber die menschliche Wahrnehmung einer Farbdifferenz ist nicht nur höchst subjektiv, sondern auch noch stark objektabhängig [1]. So wird ein eine Nuance zu gelber Zahn von einem Patienten eventuell als erheblich stärker verfärbt wahrgenommen als ein um dieselbe Nuance zu heller Zahn.

Für jedes einzelne Bracket wurde jeden Tag der Unterschied in den Variablen L, C, h und ΔE zwischen dem Messwert des Tages und dem Ausgangswert vor Testbeginn errechnet, so dass alle verarbeiteten Daten Differenzen zum Nullwert als Ausgangsbefund darstellen. In einem Vorversuch konnte die Reproduzierbarkeit der Farbmessungen durch eine mittlere Standardabweichung von 0,78 Prozentpunkten für den L-Wert, von 0,26 Prozentpunkten für den C-Wert und von 0,40 Prozentpunkten für den h-Wert belegt werden.

Die statistische Auswertung der Daten wurde mit dem Programmsystem SPSS 12.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA) durchgeführt. Die graphische Darstellung erfolgte durch Medianverläufe. Bei stetigen Variablen wurde zur Prüfung der zeitlichen Veränderung der Werte von Tag 1 bis 10 der Vorzeichentest herangezogen, um eine statistisch auffällig Tendenz in eine Richtung aufzuzeigen.

Der Gruppenvergleich stetiger Variablen wurde an den Stichtagen 1, 5 und 10 mit dem Kruskal-Wallis- bzw. Mann-Whitney-U-Test durchgeführt. Dabei steht Tag 1 für mäßi-

Table 3. Kruskal-Wallis/Mann-Whitney U test on the color difference of brackets immersed in cress on days 1, 5 and 10; $p < 0,05 \Rightarrow +$.

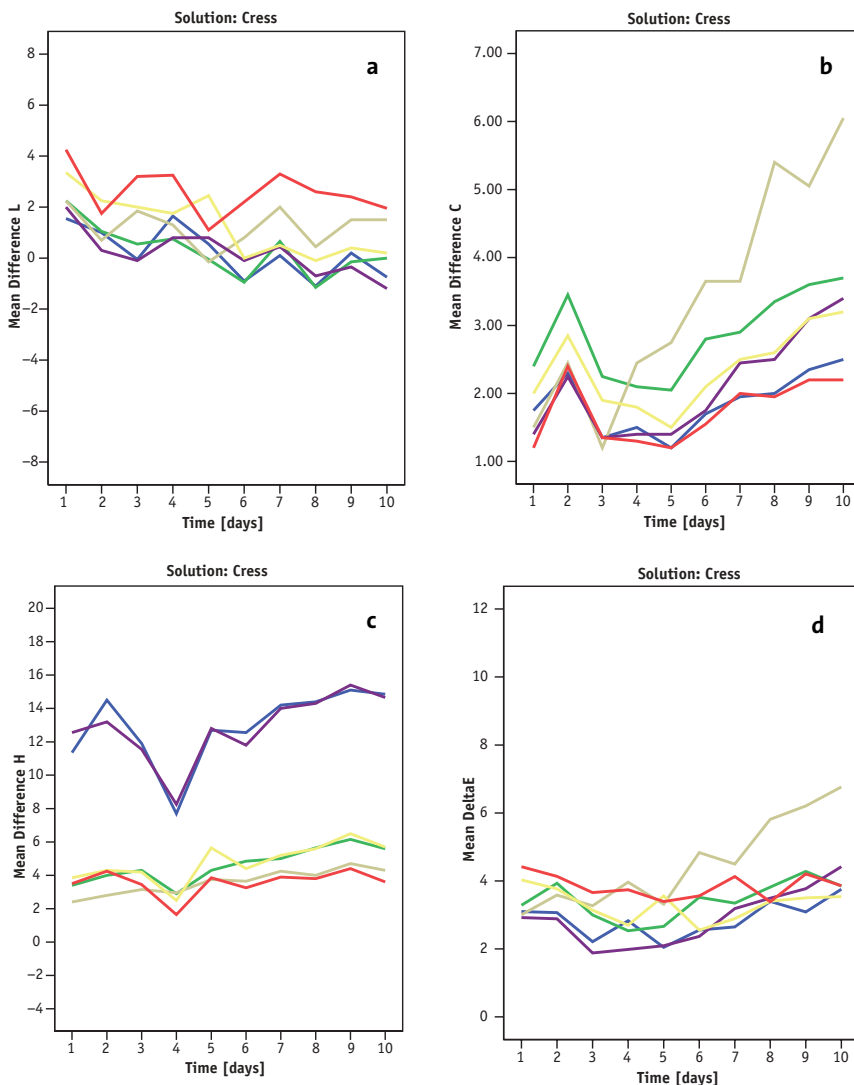
Tabelle 3. Kruskal-Wallis-/Mann-Whitney-U-Test für die Farbdifferenz der Brackets in Kresse zu den Tagen 1, 5 und 10; $p < 0,05 \Rightarrow +$.

ΔE	Fascination® 2			Aestetik-Line®			Brillant®			Ceramic 20/40 M			Silkon M		
	1	5	10	1	5	10	1	5	10	1	5	10	1	5	10
Aestetik-Line®		-	-												
Brillant®		+	+		-	+									
Ceramic 20/40 M		-	-		-	-		+	+						
Silkon M		-	-		-	-		-	+						
Mystique®		-	-		-	-		-	+						

No Visible Changes (example: cress – Tables 2 & 3; Fig. 2a–2d, 5a & 5b)

As with orange juice and accelerated photo-aging, cress caused no visible color changes in any brackets (Table 2; Figures 2a–2d, 5a & 5b). The median value of ΔE for the

gen, Tag 5 für hohen und Tag 10 für unnatürlich hohen Konsum der entsprechenden Substanz. Eine Korrektur der p-Werte wurde nicht durchgeführt. p-Werte $\leq 0,05$ wurden als statistisch auffällig angesehen.



Bracket:
 — Fascination® 2
 — Aestetik-Line®
 — Brillant®
 — Ceramic 20/40 M
 — Silkon M
 — Mystique®

Figures 2a to 2d. Course of median difference values (solution: cress) of a) lightness, b) chroma, c) hue, d) ΔE , color difference.

Abbildungen 2a bis 2d. Medianverläufe der Differenz zum Anfang über die Zeit in Kresse, a) Lightness, Helligkeit, b) Chroma, Intensität, c) Hue, Farbtone, d) ΔE , Farbdifferenz.

Table 4. Median, minimum, and maximum ΔE values of brackets in black tea during testing in relation to the measurement before testing.

Tabelle 4. Median-, Minimum- und Maximumwerte von ΔE der Brackets in schwarzem Tee über die Zeit in Bezug zum Nullwert vor Testung.

Name		Day 1	Day 2	Day 3	Day 4	Day 5	Day 6	Day 7	Day 8	Day 9	Day 10
Fascination® 2	Med	7.1	9.1	7.7	9.2	9.5	14.9	28.6	31.4	31.1	33.1
	Min	5.7	8.5	6.3	7.8	8.3	10.8	16.8	20.5	22.3	25.2
	Max	8.7	11.3	9.6	10.6	11.2	22.9	36.6	40.5	40.0	38.7
Aesthetik-Line®	Med	11.9	14.9	11.8	12.9	14.2	24.1	37.3	38.3	40.6	41.3
	Min	10.2	10.8	9.3	10.5	9.7	17.8	29.3	35.1	30.8	33.9
	Max	16.2	23.6	14.7	17.5	18.3	29.8	40.2	50.2	48.1	51.9
Brillant®	Med	7.7	10.5	11.2	10.8	11.3	16.2	23.2	28.1	27.4	29.7
	Min	4.4	7.8	8.4	8.2	6.1	8.9	20.7	23.8	21.5	23.3
	Max	10.8	16.4	16.9	16.4	18.1	24.3	33.1	35.8	36.5	37.7
Ceramic 20/40 M	Med	9.9	14.1	11.0	12.1	13.0	21.5	33.8	37.3	39.2	41.2
	Min	8.4	11.5	8.8	10.9	10.3	14.7	22.4	28.8	30.2	33.0
	Max	14.0	18.0	12.5	13.8	14.7	27.1	40.6	43.0	43.9	46.5
Silkon M	Med	9.7	12.9	11.0	12.3	12.3	20.5	30.2	33.2	33.5	35.0
	Min	7.3	9.7	8.0	8.5	9.0	15.2	21.3	27.9	28.6	26.6
	Max	14.8	18.6	15.3	20.6	21.3	25.1	36.3	41.8	42.5	42.8
Mystique®	Med	6.7	10.1	7.0	8.5	9.4	17.2	26.9	30.2	31.7	32.4
	Min	5.3	8.2	4.0	6.8	7.0	11.4	18.7	22.6	22.7	26.4
	Max	11.8	17.1	9.5	9.6	11.4	19.9	32.7	37.0	35.2	37.9

Table 5. Kruskal Wallis/Mann-Whitney U test on the color difference of brackets immersed in black tea on days 1, 5 and 10; p < 0,05 => +.

Tabelle 5. Kruskal-Wallis-/Mann-Whitney-U-Test für die Farbdifferenz der Brackets in Tee zu den Tagen 1, 5 und 10; p < 0,05 => +.

ΔE	Fascination® 2			Aesthetik-Line®			Brillant®			Ceramic 20/40 M			Silkon M		
	1	5	10	1	5	10	1	5	10	1	5	10	1	5	10
Aesthetik-Line®	+	+	+												
Brillant®	-	-	-	+	+	+									
Ceramic 20/40 M	+	+	+	+	-	-	+	-	+						
Silkon M	+	+	-	+	-	+	-	-	-	-	-	+			
Mystique®	-	-	-	+	+	+	-	-	-	+	+	+	+	+	-

polyoxymethylene bracket increased to 7 after 8 days, a barely noticeable, not disturbing difference (Figure 2d). This change is based on an increasing C value (color intensity) (Figure 2c).

Table 3 has a gray background to represent the ΔE-values on day one, since the Kruskal-Wallis test showed no significant values, and we did not intend to carry out the Mann-Whitney U test. No bracket distinguished itself statistically from any other bracket.

Sharp Discoloration after 5 Days (example: black tea – Tables 4 & 5; Fig. 3a–3d, 6a & 6b)

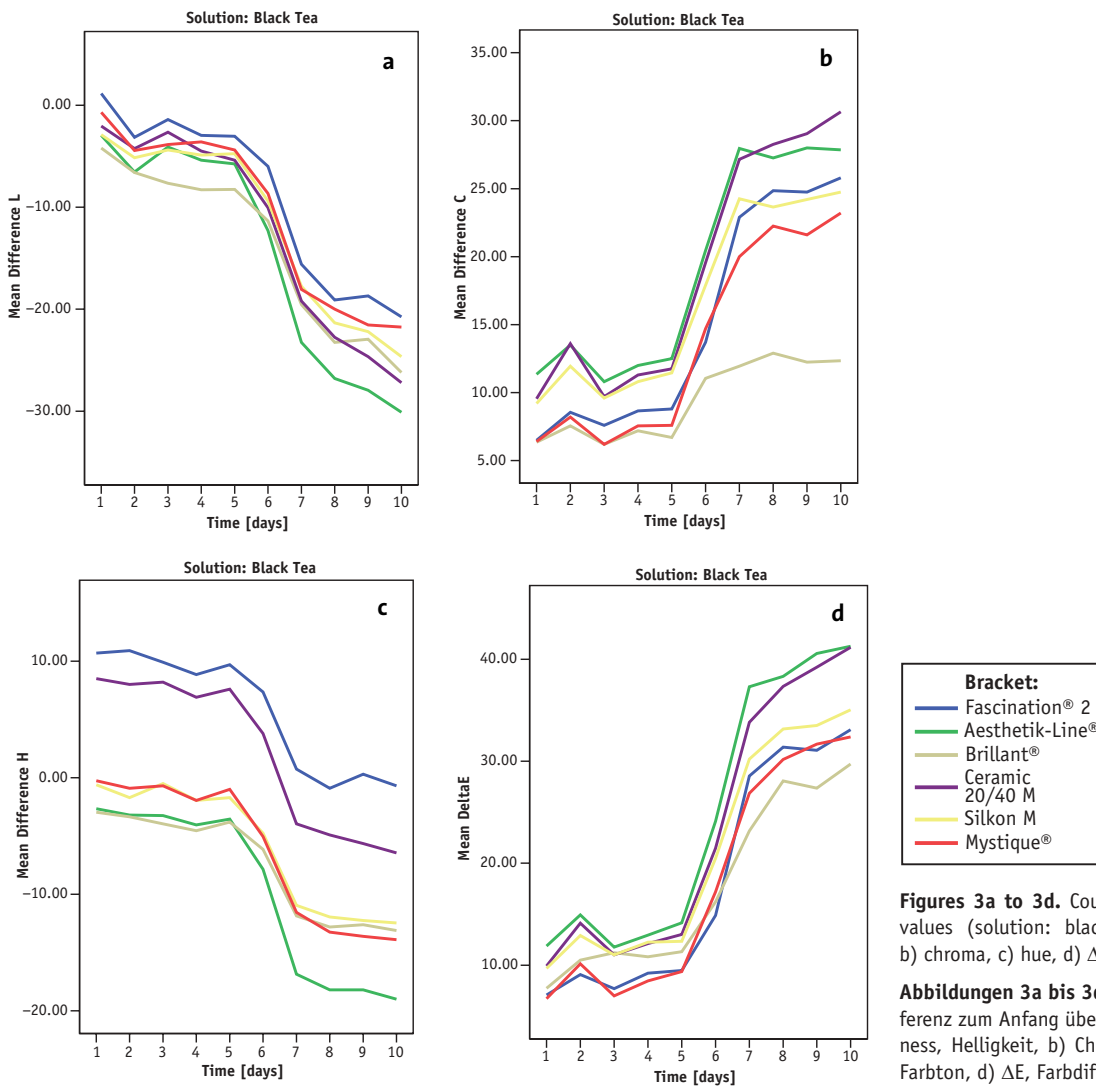
As testing began, a light discoloration on the non-ceramic brackets was observed; later, however, all types showed discoloration. At the end of testing, all bracket types achieved a certain saturation of discoloring. The brackets became darker (Figures 6a & 6b; lower L-values, Figure 3a), the C-intensity increased (Figure 3b), and the color turned red-

Ergebnisse

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie können in drei Kategorien typischer Reaktionen eingeteilt werden: Bei der Behandlung mit UV-Licht, Kresse oder Orangensaft zeigte kein Bracket eine sichtbare Verfärbung; die gemessenen Farbdifferenzen lagen im gleichen Bereich wie die der Kontrollbrackets. Nach Lagerung in Rotwein, Tee oder Kaffee zeigten alle Brackettypen eine ähnliche Reaktion mit einem starken Verfärbungsanstieg nach 5 Tagen (entsprechend einem hohen Konsum). Die Brackets aus Polyoxymethylen verfärbten sich in der Currylösung sofort. Alle anderen Bracketsorten zeigten keine sichtbare Reaktion. Die typischen Reaktionen werden beispielhaft an drei Testlösungen dargestellt.

Keine sichtbaren Veränderungen (Beispiel Kresse – Tab. 2 & 3; Abb. 2a–2d, 5a & 5b)

Wie bei Orangensaft und beschleunigter Lichtalterung zeigten auch die in Kresselösung gelagerten Brackets wäh-



Figures 3a to 3d. Course of median difference values (solution: black tea) of a) lightness, b) chroma, c) hue, d) ΔE , color difference.

Abbildungen 3a bis 3d. Medianverläufe der Differenz zum Anfang über die Zeit in Tee, a) Lightness, Helligkeit, b) Chroma, Intensität, c) Hue, Farbton, d) ΔE , Farbdifferenz.

dish (lower h-values, Figure 3c). It was obvious that black tea discolored all brackets, regardless of the material, because all the ΔE -values were similar during testing. But the different bracket materials were variously susceptible to tea, coffee and red wine (Tables 4 & 5). The ΔE values of all brackets rose rapidly after day 5.

Discoloration of Polyoxymethylene by Curry (Tables 6 & 7; Fig. 4a– 4d, 7a & 7b)

The immersion in curry caused the greatest change in chroma C in specimens made of polyoxymethylene (Figure 4b). This bracket, which already has a more yellowish color due to manufacturing conditions, was the only bracket that showed a visible discoloration towards the bright yellow color of curry on day one (Table 6, Figures 7a & 7b), and whose ΔE values differed statistically from all other brackets on days 1, 5, and 10 (Table 7).

rend der ganzen Testzeit keine sichtbaren Farbveränderungen (Tabelle 2; Abbildungen 2a–2d, 5a & 5b). Der Mittelwert von ΔE des Brackets aus Polyoxymethylene stieg nach 8 Tagen auf 7 an; es bestand eine gerade noch wahrnehmbare, aber nicht störende Farbveränderung (Abbildung 2d). Diese Verfärbung basierte auf einem Anstieg des Wertes C (Farbintensität) (Abbildung 2c).

Für die ΔE -Werte des ersten Tages ist in Tabelle 3 das Feld grau unterlegt, da der Kruskal-Wallis-Signifikanztest nicht bestanden und der Mann-Whitney-U-Test nicht angewendet werden sollte. Es unterscheidet sich kein Bracket von einem anderen statistisch auffällig.

Starke Verfärbung nach 5 Tagen (Beispiel: schwarzer Tee – Tab. 4 & 5; Abb. 3a–3d, 6a & 6b)

Zu Beginn der Testung konnte mit dem Auge zunächst eine leichte Verfärbung der nichtkeramischen Brackets be-

Table 6. Median, minimum, and maximum ΔE values of brackets in curry during testing in relation to the measurement before testing.

Tabelle 6. Median-, Minimum- und Maximumwerte von ΔE der Brackets in Curry über die Zeit in Bezug zum Nullwert vor Testung.

Name		Day 1	Day 2	Day 3	Day 4	Day 5	Day 6	Day 7	Day 8	Day 9	Day 10
Fascination® 2	Med	4.1	7.2	3.7	4.0	2.9	2.9	3.3	3.1	3.8	4.7
	Min	2.6	4.3	2.5	2.4	2.1	1.7	2.7	2.3	2.2	3.5
	Max	6.0	10.6	4.9	5.1	5.5	3.4	4.5	4.4	5.1	5.6
Aesthetik-Line®	Med	7.7	13.7	7.3	6.4	5.5	5.4	7.4	7.1	6.9	9.3
	Min	6.2	9.1	5.9	5.2	4.4	4.2	5.8	5.3	6.4	8.1
	Max	10.2	18.3	9.4	8.0	7.3	7.3	10.8	65.8	8.1	12.1
Brillant®	Med	30.8	42.6	45.3	44.1	46.8	46.4	49.7	50.3	51.5	48.2
	Min	24.0	38.7	37.4	39.1	30.7	34.1	35.7	42.2	45.2	41.3
	Max	39.8	52.8	58.0	59.1	52.0	58.6	64.4	65.1	64.7	64.9
Ceramic 20/40 M	Med	4.1	8.5	3.6	2.9	1.9	2.1	3.2	3.1	3.3	5.7
	Min	2.4	6.2	2.6	1.9	1.1	1.5	2.7	2.7	2.7	4.2
	Max	7.7	13.0	4.7	4.3	3.2	4.3	4.3	4.2	4.5	7.4
Silkon M	Med	7.4	12.2	6.7	6.2	4.8	4.5	7.6	6.6	6.6	8.4
	Min	4.0	10.3	5.1	4.9	2.9	3.6	5.5	5.8	5.7	7.4
	Max	11.7	19.1	9.7	7.7	6.7	6.0	12.4	7.8	8.2	9.7
Mystique®	Med	12.2	16.0	10.3	7.9	7.7	6.1	11.8	9.2	8.2	9.7
	Min	7.5	13.4	7.3	7.4	5.1	4.7	7.3	6.6	5.7	6.1
	Max	20.2	21.8	15.2	10.6	11.8	7.9	18.0	13.1	10.0	11.9

Table 7. Kruskal-Wallis/Mann-Whitney U test on the color difference of brackets immersed in curry on days 1, 5 and 10; $p < 0,05 \Rightarrow +$.

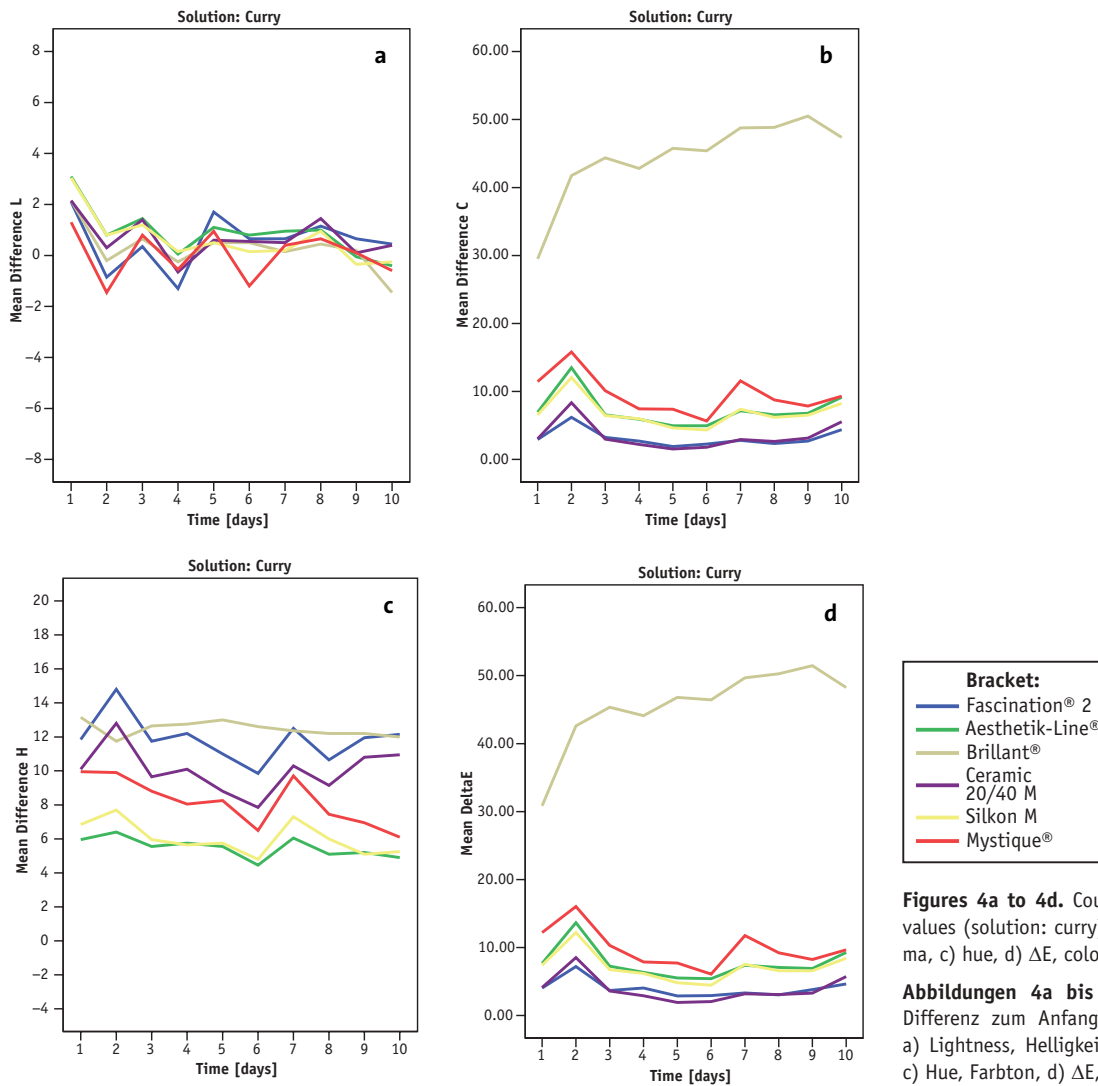
Tabelle 7. Kruskal-Wallis-/Mann-Whitney-U-Test für die Farbdifferenz der Brackets in Curry zu den Tagen 1, 5 und 10; $p < 0,05 \Rightarrow +$.

ΔE	Fascination® 2			Aesthetik-Line®			Brillant®			Ceramic 20/40 M			Silkon M		
	1	5	10	1	5	10	1	5	10	1	5	10	1	5	10
Aesthetik-Line®	+	+	+												
Brillant®	+	+	+	+	+	+									
Ceramic 20/40 M	-	+	+	+	+	+	+	+	+						
Silkon M	+	+	+	+	-	-	+	+	+	+	+	+			
Mystique®	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	-

Discussion

Although there were many statistically-conspicuous results, the question arises, as it does with every in-vitro experiment, whether the results can apply to an “in-vivo” environment. We aimed to determine at what point discoloration is bothersome in this study. This depends in part on the patient’s idea of what is esthetically attractive, but also on the patient’s perceptive abilities. Color results from the interaction of light, object and observer, thus lying in the perceptive abilities of the person speaking of color [1]. Um & Ruyter [12], referring to the findings of Kuehni & Marcus [4] and their own research [8], assume in dental science an awareness of color difference of $\Delta E > 1$. They claim acceptable values of $\Delta E < 3.3$ for color differences in natural teeth and in filling materials, that is, in simple, flat surfaces. According to the findings of small three-dimensional objects in this investigation, the values appear to be too small. The control brackets, which were

obachtet werden; später verfärbten sich jedoch alle Brackettsorten. Gegen Ende der Testreihe schien eine gewisse Sättigung der Verfärbung erreicht worden zu sein. Die Brackets wurden dunkler (Abbildungen 6a & 6b; geringere L-Werte; Abbildung 3a), die Intensität C stieg an (Abbildung 3b), und die Farbe veränderte sich ins Rötliche (geringere h-Werte; Abbildung 3c). Es war zu erkennen, dass schwarzer Tee alle Brackettypen, unabhängig von ihrer Materialbeschaffenheit, beeinflusste, da sich alle ΔE -Werte während der Studie ähnlich verhielten. Aber die verschiedenen Brackets waren unterschiedlich anfällig für die Verfärbung durch Tee, Kaffee und Rotwein (Tabellen 4 & 5). Dem zeitlichen Verlauf kann man entnehmen, dass bei allen Brackets nach Tag 5 der ΔE -Wert sprunghaft anstieg.



Bracket:

- Fascination® 2
- Aesthetik-Line®
- Brillant®
- Ceramic 20/40 M
- Silkon M
- Mystique®

Figures 4a to 4d. Course of median difference values (solution: curry) of a) lightness, b) chroma, c) hue, d) ΔE, color difference.

Abbildungen 4a bis 4d. Medianverläufe der Differenz zum Anfang über die Zeit in Curry, a) Lightness, Helligkeit, b) Chroma, Intensität, c) Hue, Farbton, d) ΔE, Farbdifferenz.

preserved and measured in de-ionized water, showed mean ΔE values of 1.5–2.4, with extreme values of 4.7. Visual comparison of the control brackets with untouched brackets revealed no visible changes. When considering whether changes in bracket color are acceptable or not, it ultimately comes down to subjective, personal evaluations [1].

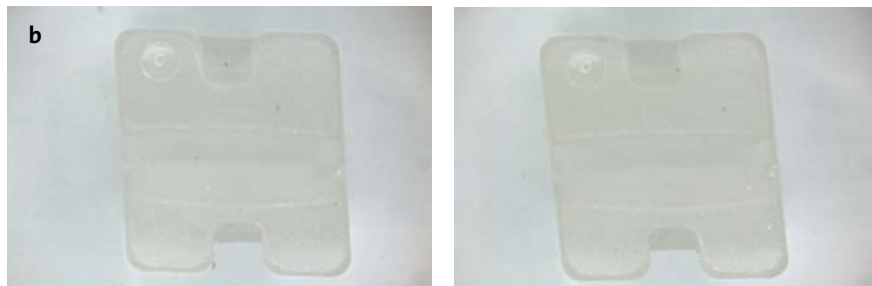
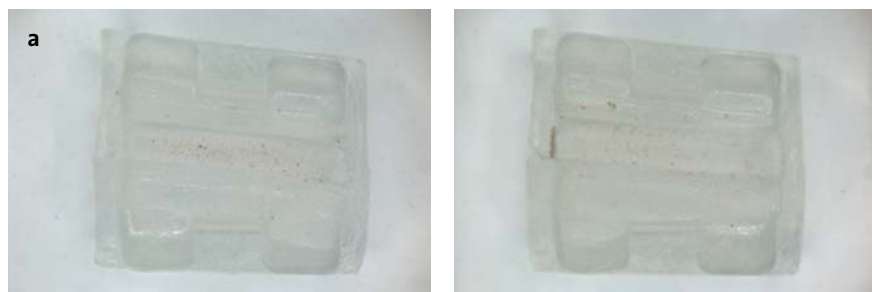
The design of the study with three-dimensional brackets suggests that a discoloration of approximately ΔE < 5 is indistinguishable to the observer. Values in the range 5 < ΔE < 10 are noticeable, but can nevertheless be rated as acceptable. Subjectively speaking, an upper limit of ΔE = 10 can certainly be considered to be a solid basis for all tested brackets. A bracket can be considered discolored when discolorations emerge that, by using the device VITA Easyshade®, can be measured with a ΔE value over 10 compared to the baseline value.

Verfärbung von Polyoxymethylen durch Curry (Tab. 6 & 7; Abb. 4a–4d, 7a & 7b)

Die Currylösung verursachte den größten Anstieg des C-Wertes an den Brackets aus Polyoxymethylen (Abbildung 4b). Dieses Bracket, das schon fabrikationsbedingt eine mehr gelbliche Farbe zeigt, war das einzige Bracket, bei dem rein visuell am ersten Messtag eine deutliche Verfärbung in Richtung Curryfarbstoff zu erkennen war (Tabelle 6; Abbildungen 7a & 7b) und dessen ΔE-Werte sich an den Stichtagen 1, 5 und 10 statistisch auffällig von denen aller anderen Brackets unterschieden (Tabelle 7).

Diskussion

Obwohl bei der Analyse der Messergebnisse eine große Zahl statistisch auffälliger Zusammenhänge gefunden wurde, stellt sich wie bei jeder In-vitro-Untersuchung die Frage, ob die Ergebnisse auf die „In-vivo“-Bedingungen



Figures 5a and 5b. Comparison of control brackets (on the left) to those immersed in cress (on the right) on day 25: a) Silkton M brackets, b) Mystique® brackets.

Abbildungen 5a und 5b. Vergleich Kontrolle (links) zu Lagerung in Kresse (rechts) nach 25 Tagen: a) Silkton M-Bracket, b) Mystique®-Bracket.



Figures 6a and 6b. Comparison of control brackets (on the left) to those immersed in black tea (on the right) on day 25: a) Aesthetic-Line® brackets, b) Ceramic 20/40 M brackets.

Abbildungen 6a und 6b. Vergleich Kontrolle (links) zu Lagerung in schwarzem Tee (rechts) nach 25 Tagen: a) Aesthetik-Line®-Bracket, b) Ceramic 20/40-Bracket.

Since the producers of the Easyshade® device provide no data on a measurable color range, it is possible that the bracket colors exceeded the machine's measurable color spectrum at some point during testing. The sharp rise in the ΔE value of brackets immersed in tea at day 5 suggests just such a possibility.

Despite potential methodological limitations, based on the study results the following can be recommended: consumption of cress and orange juice, as well as aging via exposure to UVA-light, seem to have no influence on the color of esthetic brackets (Figures 2a to 2d). The observable ΔE values revealed a level of tolerance of < 10 .

übertragen werden können. In dieser Untersuchung ist zu überlegen, ab wann eine Farbveränderung störend wirkt. Dies ist zum einen von den ästhetischen Vorstellungen des Patienten abhängig, aber auch von seiner Wahrnehmung. Denn Farbe entsteht aus einer Interaktion von Licht, Objekt und Betrachter, liegt also auch im Wahrnehmungsvermögen der Menschen, die über Farbe reden [1]. Um & Ruyter [12] gehen unter Berufung auf Kuehni & Marcus [4] und eigene Untersuchungen [8] in der Zahnheilkunde von einem wahrnehmbaren Farbabstand ab $\Delta E > 1$ aus. Akzeptable Werte für Farbunterschiede bei natürlichen Zähnen und Füllungswerkstoffen, also glatten Flächen, geben sie



Figures 7a and 7b. Comparison of control brackets (on the left) to those immersed in curry (on the right) on day 25: a) Brilliant® brackets, b) Fascination®2 brackets.

Abbildungen 7a und 7b. Vergleich Kontrolle (links) zu Lagerung in Curry (rechts) nach 25 Tagen: a) Brillant®-Bracket, b) Fascination®2-Bracket.

The consumption of coffee, black tea, and red wine should be kept to a minimum, since all brackets showed a sharp increase in discoloration after day 5 (reflecting a high level of consumption). Our results also lead us to conclude that black tea discolors all brackets (Figures 3a to 3d), regardless of the material from which they are made, since all the brackets' ΔE values were similar during testing. However, there are obvious differences in discoloration processes over time between the different bracket materials. The coloring agents discolored plastics earlier than ceramic materials. It was demonstrated that all brackets showed a sharp rise in ΔE values after 5 days. The day-5 time point reflects the assumed high consumption of black tea. Prior to that point in time, ceramic brackets remained within tolerable limits of discoloration, unlike plastic brackets. Thus, with respect to esthetic considerations, ceramic brackets should be recommended to patients who regularly drink tea.

In the curry solution, only the polyoxymethylene brackets proved to be highly susceptible to discoloration (Table 7). The other brackets did not reveal such a reaction (Figures 4a to 4d). Perhaps the polyoxymethylene brackets would have reacted similarly to substances that were not tested in this study. The rapid rise in chroma was recorded on day one in that bracket material, evident in what was obvious discoloration. Since the visible reaction to curry in the ensuing period was minimal, it appears that the intensity of curry consumption plays a minor role, and that patients who like to eat curry should not be fitted with polyoxymethylene brackets for esthetic reasons.

When the bracket slices were examined under the microscope it could not be ascertained with any certainty whether the bracket discoloration was attributable to external deposits (due to different bracket surface roughness) or to internal discoloration of the bracket material.

mit $\Delta E < 3,3$ an. Diese Werte scheinen im Hinblick auf das vorliegende Messverfahren an kleinen dreidimensionalen Objekten zu klein. Die Kontrollbrackets, die zur gleichen Zeit in destilliertem Wasser aufbewahrt und gemessen wurden, zeigten im Mittel ΔE -Werte von 1,5–2,4 mit Extrema bis 4,7. Ein visueller Vergleich der Kontrollbrackets mit unbehandelten Brackets ergab keinerlei sichtbare Veränderung. Bei der Betrachtung, ob eine Veränderung der Bracketfarbe akzeptabel ist oder nicht, geht es letztendlich um eine persönliche Bewertung [1].

Die Versuchsanordnung mit den dreidimensionalen Brackets deutet an, dass Verfärbungen von ungefähr $\Delta E < 5$ nicht vom Betrachter wahrgenommen werden können. Werte von $5 < \Delta E < 10$ werden wahrgenommen, können aber als akzeptabel eingestuft werden. Subjektiv kann der Grenzwert von $\Delta E = 10$ allerdings als gute Grundlage für alle untersuchten Brackets gelten. Treten Verfärbungen auf, die von dem Gerät VITA Easyshade® mit einem Wert von $\Delta E > 10$ gegenüber dem Ausgangswert gemessen werden, kann das Bracket als verfärbt angesehen werden.

Da von Seiten des Herstellers Angaben über den mit dem Gerät Easyshade® messbaren Farbraum fehlen, ist es möglich, dass im Laufe der Testung die Bracketfarbe eventuell den vom Gerät messbaren Farbraum verlassen hat; der sprunghafte Anstieg des ΔE -Wertes der in Tee gelagerten Brackets nach dem fünften Tag lässt einen solchen Vorgang vermuten.

Trotz potenzieller methodischer Einschränkungen können aus den Ergebnissen der vorliegenden Studie folgende Empfehlungen abgeleitet werden: Der Konsum von Kresse und Orangensaft sowie die Alterung durch UV-A-Licht scheint keinen Einfluss auf die Farbe der ästhetischen Brackets zu haben (Abbildungen 2a bis 2d). Die beobachteten ΔE -Werte lagen im Toleranzbereich von < 10 .

Conclusions

Based on the trial results, we cannot concur with the current thresholds concerning visible color differences at $\Delta E > 1$ and the unacceptable difference set at $\Delta E > 3.3$ for filling materials as stated in the literature [4, 8, 12]. Here the limits appear to be at $\Delta E > 5$ and/or > 10 . Further investigation on this subject is required to confirm these findings.

It has been shown that polyoxymethylene, unlike all the other materials, becomes deeply discolored in curry. We thus recommend that, for esthetic reasons, such brackets are unsuitable for patients who enjoy curry.

Furthermore, it has been found that the bracket materials themselves play a less significant role than does their durability, and that brackets made of polycrystalline ceramics make an esthetically-sound choice.

Cress, orange juice and UVA light do not seem to affect the color stability of esthetic brackets.

Although this in-vitro study cannot precisely simulate the patient's actual situation, these results reveal that the consumption of certain foods has a strong effect on the degree of color changes in tooth-colored brackets.

References

- Berns RS, Billmeyer FW, Saltzman M. Measuring Color. In: Berns RS, ed. Billmeyer and Saltzman principles of color technology. New York: John Wiley, 2000:75–105.
- Buchalla W, Attin T, Hilgers RD, Hellwig E. The effect of water storage and light exposure on the color and translucency of a hybrid and a microfilled composite. *J Prosthet Dent* 2002;87:264–70.
- Eliades T, Gioka C, Heim M, et al. Color stability of orthodontic adhesive resins. *Angle Orthod* 2004;74:391–3.
- Kuehni R, Marcus M. An experiment in visual scaling of small color differences. *Color* 1979;4:83–91.
- Kunzelmann KH. Über Farbe streiten? *Dental Magazin* 3/2004:96–9.
- Patel SB, Gordan VV, Barrett AA, Shen C. The effect of surface finishing and storage solutions on the color stability of resin-based composites. *J Am Dent Assoc* 2004;135:587–94; quiz 654.
- Qualtrough AJE, Burke FJT. A look at dental esthetics. *Quintessence Int* 1994;25:7–14.
- Ruyter IE, Nilner K, Moller B. Color stability of dental composite resin materials for crown and bridge veneers. *Dent Mater* 1987;3:246–51.
- Schulze KA, Marshall SJ, Gansky SA, Marshall GW. Color stability and hardness in dental composites after accelerated aging. *Dent Mater* 2003; 19:612–9.
- Sham AS, Chu FC, Chai J, Chow TW. Color stability of provisional prosthodontic materials. *J Prosthet Dent* 2004;91:447–52.
- Stober T, Gilde H, Lenz P. Color stability of highly filled composite resin materials for facings. *Dent Mater* 2001;17:87–94.
- Um CM, Ruyter IE. Staining of resin-based veneering materials with coffee and tea. *Quintessence Int* 1991;22:377–86.
- Vita Zahnfabrik. VITA Easyshade Bedienungsanleitung, Stand 5-04; www.vita-zahnfabrik.com/resourcesvita/shop/de/de_3051340.pdf

Der Genuss von Kaffee, schwarzem Tee und Rotwein sollte auf einem niedrigen Niveau gehalten werden, da bei allen Brackets nach dem Tag 5 (entsprechend hohem Konsum) eine stärkere Verfärbung festzustellen war. Näherungsweise ist aus den Ergebnissen zu schließen, dass schwarzer Tee alle Brackets verfärbt (Abbildungen 3a bis 3d), egal aus welchem Material sie bestehen, da sich die ΔE -Werte aller Brackets über die Zeit sehr ähnlich verhielten. Es bestehen jedoch offensichtlich Unterschiede im zeitlichen Farbveränderungsverhalten zwischen verschiedenen Bracketmaterialien: Kunststoff nahm den Farbstoff früher als Keramik an. Dem zeitlichen Verlauf ist zu entnehmen, dass bei allen Brackets nach Tag 5 der ΔE -Wert sprunghaft anstieg. Diese Marke (Tag 5) entspricht dem postulierten hohen Konsum von schwarzem Tee. Bis zu dieser Marke verhielten sich die Keramik-Brackets im Gegensatz zu Kunststoff im tolerablen Bereich, so dass man sich wahrscheinlich bei Tee liebenden Patienten aus ästhetischer Sicht für Keramik-Brackets entscheiden würde.

In der Färbelösung Curry war nur das Bracket aus Polyoxymethylen sehr anfällig auf Verfärbung (Tabelle 7). Bei den anderen Brackets trat eine vergleichbare Reaktion nicht auf (Abbildungen 4a bis 4d). Es ist denkbar, dass Polyoxymethylen auch in anderen, nicht in dieser Untersuchung berücksichtigten Substanzen ähnlich reagiert. An Tag 1 war bei diesem Bracket ein sprunghafter Anstieg der Farbsättigung zu messen, welcher sich visuell in einer deutlichen Verfärbung widerspiegelte. Da diese sichtbare Reaktion auf Curry sich später nur noch unwesentlich änderte, scheint die Intensität des Curry-Genusses nur eine untergeordnete Rolle zu spielen. Somit sollten bei Patienten mit einer Vorliebe für curryhaltiges Essen Brackets aus Polyoxymethylen aus ästhetischer Sicht möglichst nicht zum Einsatz kommen.

Ob die Verfärbung der Brackets allein auf externe Belagsbildung bei unterschiedlicher Oberflächenrauigkeit oder interne Verfärbung des Bracketmaterials zurückzuführen ist, ließ sich bei der Betrachtung der aufgeschnittenen Brackets unter dem Mikroskop nicht eindeutig klären.

Schlussfolgerungen

Die in der Literatur [4, 8, 12] angegebenen Grenzwerte für den sichtbaren Unterschied bei $\Delta E > 1$ und den inakzeptablen Unterschied bei $\Delta E > 3,3$ können für Füllungskunststoffe für den vorliegenden Versuchsaufbau nicht übernommen werden. Hier scheinen die Grenzen vielmehr bei einem ΔE von 5 bzw. 10 zu liegen, was in weiteren Studien zu diesem Thema noch bestätigt werden müsste.

Es hat sich gezeigt, dass Polyoxymethylen sich im Gegensatz zu allen anderen Materialien in Curry sehr stark verfärbt. Daher ist unter ästhetischen Gesichtspunkten nicht zu raten, diese Brackets bei Curry konsumierenden Patienten einzusetzen.

Des Weiteren scheint die Wahl des Bracketmaterials im Gegensatz zur Expositionsdauer eine untergeordnete Rolle

Correspondence Address

Dr. Susanne Wriedt
Poliklinik für Kieferorthopädie
Klinikum der Johannes-Gutenberg-Universität
Augustusplatz 2
55131 Mainz
Germany
Phone (+49/6131) 17-3030, Fax -5569
e-Mail: wriedt@kieferortho.klinik.uni-mainz.de

zu spielen. Brackets aus polykristalliner Keramik stellen aus ästhetischer Sicht eine gute Wahl dar.

Kresse, Orangensaft und UV-A-Licht scheinen keinerlei Auswirkungen auf die Farbstabilität ästhetischer Brackets zu haben.

Wenn auch dieser In-vitro-Versuch die Situation am Patienten nur bedingt simulieren kann, legen die Ergebnisse den Schluss nahe, dass das Ernährungsverhalten der Patienten die Farbstabilität der verschiedenen Brackets beeinflusst.