

C. Igiel¹, K.M. Lehmann¹, D. Conradi¹, A. Arndt¹, S. Wentaschek¹, H. Scheller¹

Vergleichende Untersuchung zur Reproduzierbarkeit digitaler dentaler Farbbestimmungssysteme

Comparative study of reproducibility of color-measuring devices



C. Igiel

Einführung: Das Ziel dieser klinischen Untersuchung war die Evaluation der Intra- und Interklassen-Reproduzierbarkeit von vier unterschiedlichen Farbbestimmungssystemen unter Berücksichtigung des Zahntyps.

Material und Methode: Die Zahnfarben natürlicher Oberkieferfront- und -eckzähne von insgesamt 56 Patienten wurde mit Hilfe von vier elektronischen Farbbestimmungssystemen (Degudent Shadepilot, Olympus Crystaleye, VITA Easys shade compact, X-Rite Shadevision) ermittelt. Diesbezüglich wurden jeweils die CIE L*a*b*-Farbkoordinaten für den zentralen Zahnbereich bestimmt. Zur statistischen Analyse der Reproduzierbarkeit wurden die Intra-Klassen-Korrelationskoeffizienten (ICC) zum einen innerhalb der Messwiederholungen eines Farbbestimmungssystems und zum anderen zwischen den Messergebnissen der unterschiedlichen Farbbestimmungssysteme errechnet. Darüber hinaus wurde der Farbabstand (ΔE) zwischen den evaluierten Farbkoordinaten zur Beurteilung der klinischen Akzeptanz ($\Delta E < 3,7$) ermittelt. Zum Vergleich der Messergebnisse wurde eine einfaktorielle Varianzanalyse (ANOVA) und nachfolgend eine Bonferroni-Korrektur für den Paarvergleich angewandt. Hierbei betrug das globale Signifikanzniveau 5 %.

Ergebnisse: Die vier untersuchten Farbbestimmungssysteme zeigten eine hohe Intra- Klassenreproduzierbarkeit der L*a*b*-Farbkoordinaten für alle untersuchten Zähne ($0,7014 > ICC > 0,9965$, $\Delta E < 2,22$), wohingegen die Inter-Klassenreproduzierbarkeit zwischen den Messungen deutlich geringer ausfiel ($0,010 > ICC > 0,9712$, $\Delta E > 8,02$).

Schlussfolgerung: Jedes im Rahmen dieser Studie untersuchte Farbbestimmungssysteme lieferte für jeden Zahn hervorragende Reproduktionsergebnisse. Im Gegensatz dazu zeigte die geringe Inter-Klassenreproduzierbarkeit, dass die Farbkoordinaten der untersuchten Systeme nicht miteinander vergleichbar sind. (Dtsch Zahnärztl Z 2012, 67: 570–577)

Schlüsselwörter: Farbauswahl, Zahnfarbe, CIE L*a*b*; Spektralfotometer, Kolorimeter, Reproduzierbarkeit

Introduction: The objective of this study was to evaluate the intra- and interdevice reproducibility in different tooth locations using four color-measuring devices under clinical conditions.

Materials and Methods: Color measurements of the natural maxillary incisors and canines on 56 patients were recorded using four color-measuring devices (DeguDent Shadepilot, Olympus Crystaleye, VITA Easys shade compact, X-Rite Shadevision). CIE L*a*b* values were determined for the central region of all teeth. Intraclass correlation coefficients (ICCs) were used to statistically analyze intra- and inter-device reproducibility for different tooth locations. Color differences (ΔE) between measurements were also computed to evaluate the clinical acceptability of electronic devices used. The data were assessed using analysis of variance (ANOVA) and Bonferroni adjustment to control for multiple testing. Differences were deemed significant when $P < 0.05$.

Results: The four color-measuring devices generally exhibited high intra-device reproducibility of color coordinates for all tooth locations ($0.7014 > ICC > 0.9965$, $\Delta E < 2.22$). In contrast, inter-device reproducibility was lower for all tooth locations ($0.010 > ICC > 0.9712$, $\Delta E < 8.02$).

Conclusion: High intra-device reproducibility of color coordinates could be achieved for all tooth locations when the same device was used. However, because of the low inter-device reproducibility, results using different color measurement devices are not comparable.

Keywords: color matching, tooth shade, spectrophotometer, colorimeter, repeatability

¹ Universitätsmedizin der Johannes Gutenberg Universität Mainz, Poliklinik für Prothetik
Peer-reviewed article: eingereicht: 19.11.2011, revidierte Fassung akzeptiert: 24.01.2012
DOI 10.3238/dzz.2012.0570-0577

Einleitung

Die Charakterisierung und Reproduktion der Zahnfarbe stellt in der ästhetischen und restaurativen Zahnheilkunde eine große Herausforderung dar [17, 42, 44]. Das heutige Schönheitsbewusstsein hat den Blick vieler Patienten geschärft, so dass die Anforderungen an die verwendeten Keramik- und Kunststoffmaterialien, sowie an die verarbeitenden zahntechnischen Laboratorien und Zahnärzte gestiegen sind. Dabei ist die Auswahl der richtigen Zahnfarbe für den Patienten ein zentrales Qualitätskriterium, das letztendlich entscheidend für die erfolgreiche Eingliederung des Zahnersatzes ist [21]. Diesbezüglich werden hauptsächlich 2 Methoden zur Bestimmung der Zahnfarbe verwendet. Dies ist zum einen die visuelle Abmusterung mittels industriell hergestellter Farbringsysteme und zum anderen die Verwendung elektronischer Farbbestimmungssysteme (Abb. 1). Hierbei zeichnet sich die visuelle Farbbestimmung als subjektives Verfahren aus, da sie von diversen Faktoren, wie z. B. der Farbwahrnehmung durch den Betrachter, den Lichtverhältnissen, der Transluzenz und der Oberflächenbeschaffenheit des untersuchten Objektes abhängig ist [5, 8, 18, 23, 37]. Darüber hinaus mangelt es den verfügbaren Farbringsystemen an einer einheitlichen Standardisierung, so dass diese untereinander nicht vergleichbar sind. Zudem zeigen diverse Untersuchungen, dass Farbringsysteme den Farbraum natürlicher Zähne nur unvollständig repräsentieren [29, 30, 33, 37]. Diese Faktoren gestalten die visuelle Farbbestimmung unsicher und steigern den Wunsch des Behandlers nach einer objektiven Methode zur Bestimmung der Zahnfarbe. Die Verwendung instrumenteller Farbbestimmungssysteme soll diese Fehlerquellen minimieren und es ermöglichen, die Farbbestimmung reproduzierbarer zu gestalten. Dafür finden in der Zahnheilkunde Kolorimeter, Spektrofotometer, Spektrometriometer und digitale Kamerasysteme mit entsprechenden Softwareapplikationen Anwendung, wobei jedoch zumeist Spektrofotometer verwendet werden. Diese messen das von dem untersuchten Zahn reflektierte Licht in Abhängigkeit der Wellenlänge und ermitteln eine Remissionkurve, aus der Farbinformationen gewonnen werden. Diese Farbinformationen können innerhalb sogenannter Farbräume unter Verwendung von Farb-



Abbildung 1 Verwendung eines elektronischen Farbbestimmungssystems am Beispiel des VITA Easyshade compact.

Figure 1 The use of an electronic shade matching device, here the VITA Easyshade compact.

koordinaten (z. B. CIE L*a*b*) wiedergegeben werden [29]. Mit Hilfe metrisch gewonnener Farbkoordinaten können dann auch Farbunterschiede (ΔE) zwischen Objekten mathematisch mit der Formel: $\Delta E = (\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2)^{1/2}$ analysiert werden. In der Literatur wird unter kontrollierten Umgebungsbedingungen ein Wert $\Delta E = 1$ als unterer Grenzwert, bei dem bereits 50 % der Beobachter einen Farbunterschied wahrnehmen, beschrieben [36]. Als oberer Grenzwert, ab dem intraoral zwei Objekte als farblich unterschiedlich bewertet werden, gilt $\Delta E > 3,7$ [19, 20]. Daher war das Ziel dieser klinischen Untersuchung die Evaluation der Reproduzierbarkeit von vier elektronischen Farbbestimmungssystemen innerhalb der jeweiligen Messsysteme (Intraklassen-Reproduzierbarkeit) und zwischen den unterschiedlichen Messsystemen (Interklassen-Reproduzierbarkeit). Diesbezüglich wurde zum einen die Nullhypothese überprüft, dass der Farbunterschied (ΔE_{ab}) zwischen zwei Messungen (a und b) eines Systems (Intraklassen-Reproduzierbarkeit) den Wert 3,7 nicht überschreitet und zum anderen, dass keine Farbunterschiede (ΔE_{ab}) über 3,7 zwischen zwei Messungen (a und b) verschiedener Messinstrumente (Interklassen-Reproduzierbarkeit) existieren.

Material und Methode

Farbbestimmungssysteme

In dieser Studie wurden vier unterschiedliche Farbbestimmungssysteme

verwendet: DeguDent ShadePilot (SP) (Abb. 2), Olympus Crystaleye (CE) (Abb. 3), VITA Easyshade compact (ESc) (Abb. 4) und X-Rite Shadevision (SV) (Abb. 5). Die Gerätespezifikationen sind Tabelle 1 zu entnehmen. Das jeweilige Farbbestimmungssystem wurde stets von einem geübten Untersucher verwendet. Hierbei wurden die Bedienungshinweise des jeweiligen Herstellers beachtet.

Probanden

Im Rahmen dieser Untersuchung waren 56 Probanden eingebunden. Ausschlusskriterien waren jede Form von Restaurationen, sowie exo- oder endogene Verfärbungen im Bereich der untersuchten Zähne in Regio 13 bis 23. Während der Messungen wurde darauf geachtet, dass die Probanden den Kopf an der Kopfstütze der Behandlungseinheit abstützten und den Mund geöffnet hielten. Weiterhin wurde darauf geachtet, dass die Probanden die Zunge nicht gegen die Oberkieferfrontzähne pressten. Jeder Proband trank nach erfolgter Messung aus einem Glas Wasser, um eine Dehydratation der Zähne zu vermeiden.

Untersuchungsbedingungen

Sämtliche Messungen wurden in einem fensterlosen Raum bei geschlossener Tür durchgeführt. Auf natürliches Sonnenlicht wurde wegen der tageszeitlichen Schwankungen der Lichtqualität und



Abbildung 2 DeguDent Shadepilot.

Figure 2 DeguDent Shadepilot.

-quantität verzichtet. Die Raumbeleuchtung erfolgte mit 36W/6500°K Tageslicht-Leuchtstoffröhren (Phillips Master TL-D 36W/865, Philips GmbH, Amsterdam, Niederlande). Des Weiteren wurde zur optimalen Ausleuchtung des Messplatzes eine Farbprüfleuchte (Typ: CC\FD3-SY-4\36.D, Just Normlicht GmbH, Weilheim Teck, Deutschland) verwendet. Diese wies eine Farbtemperatur von 6500°K bei 4 x 36 W Leistung auf. Die Beleuchtungsintensität im Bereich der Oberkieferfrontzähne betrug ca. 2000 lx.

Bestimmung der Farbkoordinaten

Die jeweiligen Farbbestimmungssysteme wurden vor jeder Messung entsprechend den Herstellerangaben kalibriert. Jeder der Oberkieferfront- und -eckzähne wurde 5-mal hintereinander im zentralen Bereich vermessen wobei die CIE L*a*b*-Farbkoordinaten aufgezeichnet wurden.

Statistische Auswertung

Zur statistischen Auswertung wurde das Programm SPSS (V.17.0.1 SPSS GmbH



Abbildung 3 Olympus Crystaleye.

Figure 3 Olympus Crystaleye.



Abbildung 5 X-Rite Shadevision.

Figure 5 X-Rite Shadevision.



Abbildung 4 VITA Easyshade compact.

Figure 4 VITA Easyshade compact.

Software, München) verwendet. Die Reproduzierbarkeit der CIE L*a*b*-Farbkoordinaten innerhalb eines bzw. zwischen den unterschiedlichen Farbbestimmungssystemen wurde durch Berechnung der Intra-Klassen-Korrelationskoeffizienten (ICC) bestimmt. Ein Korrelationskoeffizient von 1 entsprach hierbei einer perfekten Übereinstimmung, ein Wert von 0 entsprechend keiner Übereinstimmung der Messergebnisse. Zur Validierung der klinischen Aussage wurde zusätzlich der Farbabstand (ΔE_{ab}) zwischen den Messungen a und b innerhalb eines Systems und zwischen den Messungen der unterschiedlichen Systeme für jeden Zahn berechnet. Zum Vergleich der Messergebnisse wurde eine einfaktorische Varianzanalyse (ANOVA) und nachfolgend eine Bonferroni-Korrektur durchgeführt. Als globales Signifikanzniveau wurde

(α) = 5 % und als lokales Signifikanzniveau entsprechend (α) = 0,00833 gewählt.

Ergebnisse

Tabelle 2 zeigt die Intra-Klassen-Korrelationskoeffizienten (ICC), sowie die Farbabstände (ΔE) zur Darstellung der Reproduzierbarkeit der Messergebnisse eines Farbbestimmungssystems. In Tabelle 3 finden sich die Intra-Klassen-Korrelationskoeffizienten und die Farbabstände (ΔE) zur Beschreibung der Reproduzierbarkeit der Messergebnisse zwischen den Farbbestimmungssystemen. Hierbei ergaben sich für jeden Zahn signifikante Unterschiede ($p < 0,00833$) zwischen den Messungen der unterschiedlichen Farbbestimmungssysteme.

Gerät	optisches Design	Kalibrierung	Lichtquelle	Wellenlängenbereich	Messareal	spektrale Auflösung	Markteinführung
Olympus Crystaleye	Spektral-fotometer	opaker Farbstandard	LED	400–720 nm	Flächenmessung	10 nm	2008
VITA Easyshade compact	Spektral-fotometer	transluzenter Keramikstandard	weißes LED D65	400–700 nm	Punktmessung	25 nm	2008
DeguDent Shadepilot	Spektral-fotometer	opaker Farbstandard	LED	400–720 nm	Flächenmessung	10 nm	2006
X-Rite Shadevision	Spektral-fotometer	opaker Farbstandard	Glühlampe gasgefüllt	N/A	Flächenmessung	N/A	2001

Tabelle 1 Gerätespezifikationen.

Table 1 Device specifications.

Diskussion

Die hier evaluierten Farbbestimmungssysteme nutzen unterschiedliche Messmethoden zur Bestimmung der Zahnfarbe. Diesbezüglich unterscheiden sie sich hinsichtlich ihrer Aufnahmetechnik (Punkt- und Flächenmessverfahren), Messgeometrie ($0^\circ/0^\circ$, $18^\circ/0^\circ$, $45^\circ/0^\circ$), Sensoraufbau (CMOS, CCD) und Datenakquisition (Kolorimeter, Spektralphotometer). Zur Minimierung von Einflussfaktoren wurde entsprechend der Stellungnahme der Deutschen Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde bei der Versuchsdurchführung darauf geachtet, dass standardisierte Umgebungsbedingungen vorlagen [12].

Die Genauigkeit eines Farbbestimmungssystems hängt davon ab, wie weit der gemessene Wert von der sogenannten „wahren Farbe“ des Zahnes abweicht. Aufgrund der Tatsache, dass kein Referenzsystem als Goldstandard existiert, bleibt die „wahre Farbe“ unbekannt. Folglich wurde zur Beurteilung der Leistungsfähigkeit der verwendeten Farbbestimmungssysteme ausschließlich die Intra- und Interklassen-Reproduzierbarkeit untersucht. Zusätzlich wurden zur Interpretation der Intra-Klassen-Korrelationskoeffizienten, zwischen den Messungen innerhalb eines Farbbestimmungssystems und zwischen den Messungen der unterschiedlichen Systeme, die resultierenden Farbdifferenzen (ΔE) berechnet [2, 6, 10, 13, 16, 26]. Zur Evaluation der Reproduzierbarkeit elektronischer Farbbestimmungssysteme wurden in bisherigen Forschungsarbeiten entwe-

der standardisiert hergestellte keramische Proben [22, 28, 34], Keramikzähne [11, 24, 25] oder natürliche Zähne vermessen [2, 7, 11, 23, 26, 38]. Tabelle 4 zeigt eine Zusammenfassung von Untersuchungen, die gleiche Farbbestimmungssysteme – wie sie auch im Rahmen dieser Untersuchung verwendet wurden – untersuchten, wobei keine Daten zur Reproduzierbarkeit des Crystaleye (CE) Systems vorliegen.

Bei dieser Untersuchung ergaben sich hinsichtlich der ermittelten CIE $L^*a^*b^*$ -Koordinaten keine signifikanten Unterschiede zwischen den Messungen innerhalb eines Systems. Hierbei lag der durchschnittliche Farbunterschied (ΔE) bei 1,91 für das Easyshade compact System, bei 0,33 für das Shadepilot System und bei 1,25 für das Shadevision System. Damit befanden sich die ermittelten Farbunterschiede deutlich unterhalb des Grenzwertes für einen sichtbaren intraoralen Farbunterschied von $\Delta E = 3,7$. Diese klinisch nicht sichtbaren Farbdifferenzen zwischen den Mehrfachmessungen eines Farbbestimmungssystems könnten auf geringfügige Änderungen des Messwinkels während der Repositionierung des Messobjektives zurückgeführt werden. Darüber hinaus besteht die Möglichkeit, dass der vielschichtige Aufbau des Zahnes (Schmelz, Dentin und Pulpa) mit seinen unterschiedlichen molekularen Strukturen der Grund ist, dass das gleiche Licht auf unterschiedliche Weise remittiert, beziehungsweise absorbiert wird. Weitere Faktoren wie die Oberflächenbeschaffenheit, die Transluzenz und auch die Krümmung

des natürlichen Zahnes können zusätzlich die Messergebnisse der Farbbestimmungssysteme beeinflussen [11, 26, 38]. Hierbei kann die Transluzenz insbesondere im inzisalen Bereich beziehungsweise eine starke Krümmung der Zahnoberfläche und der Einfluss der Gingiva im zervikalen Bereich die Reproduzierbarkeit negativ beeinträchtigen. Diesbezüglich liefern Farbbestimmungssysteme mit Punktmessverfahren (wie z. B. das VITA Easyshade compact) lediglich Farbinformationen aus einem bestimmten Bereich der Zahnoberfläche, da diese in Abhängigkeit des Durchmessers der optischen Blende nur einen begrenzten Teil der Oberfläche erfassen können. Darüber hinaus kann es bei einer zu kleinen optischen Blende während der Belichtung und anschließender spektralfotometrischer Analyse zu einem Verlust der Lichtintensität kommen (small window edge loss). Infolgedessen kann es zu Ungenauigkeiten bei der Bestimmung der Farbkoordinaten kommen [31]. Demgegenüber wirkt sich der Kontakt eines Punktmessgerätes mit dem Zahn vorteilhaft aus, da hierdurch Reflektionen im Bereich der Zahnoberfläche keinen Einfluss auf das Messergebnis haben. Im Gegensatz dazu können Reflektionen bei der Verwendung von Flächenmessgeräten folglich zu Beeinträchtigungen bei der Bestimmung der Farbkoordinaten führen [32].

Weiterhin konnten keine Unterschiede hinsichtlich der Reproduzierbarkeit zwischen Systemen mit unterschiedlicher Datenakquisition (Spektralfotometer vs. Kolorimeter) evalu-

	Zahn	13			12				11			
	L	a	b	ΔE	L	a	b	ΔE	L	a	b	ΔE
SP	0,9851	0,9826	0,9935	0,51	0,9860	0,9559	0,9882	0,51	0,9080	0,9458	0,9901	0,57
CE	0,9383	0,9842	0,9756	0,55	0,9929	0,9829	0,9956	0,35	0,9910	0,9776	0,9948	0,33
ESc	0,8891	0,9762	0,9568	1,85	0,8331	0,9073	0,9476	2,22	0,9093	0,9575	0,9707	1,62
SV	0,9012	0,8177	0,9387	1,37	0,9034	0,7209	0,9473	1,17	0,9254	0,7066	0,9681	1,16

Tabelle 2 Intra-Klassen-Korrelationskoeffizienten und ΔE -Werte innerhalb eines Farbbestimmungssystems.

Table 2 Intraclass correlation coefficient and ΔE -Values within one color measurement device.

	Zahn	13			12				11			
	L	a	b	ΔE	L	a	b	ΔE	L	a	b	ΔE
SP/CE	0,6738	0,3923	0,8769	3,99	0,6368	0,2701	0,9712	3,75	0,5057	0,3298	0,9635	3,96
SP/ESc	0,5838	0,1188	0,7572	6,40	0,5600	0,1490	0,7823	6,45	0,5449	0,0108	0,7111	6,22
SP/SV	0,5689	0,7402	0,8229	3,62	0,5372	0,6500	0,8350	3,66	0,6515	0,6346	0,8237	3,16
CE/ESc	0,3862	0,5403	0,7985	6,40	0,3510	0,1745	0,7805	6,61	0,4478	0,1443	0,7048	6,25
CE/SV	0,7952	0,4446	0,8656	3,22	0,8121	0,1854	0,8468	3,60	0,7430	0,0734	0,8093	3,62
ESc/SV	0,3177	0,1517	0,7233	6,41	0,3399	0,0263	0,8159	7,36	0,5094	0,0222	0,7597	7,76

Tabelle 3 Intra-Klassen-Korrelationskoeffizienten und ΔE -Werte zwischen den unterschiedlichen Farbbestimmungssystemen.

Table 3 Intraclass correlation coefficient and ΔE -Values between different color measurement device.

Autor/Jahr	Anzahl Probanden/ Messobjekt	Anzahl der Messwiederholungen	VITA Easyshade/ Easyshade compact	DeguDent Shadepilot/ Mirco Spectroshade	X-Rite Shadevision
Lehmann 2010	Scheibenförmige Keramikproben	5	ICC = 0,9996	ICC = 0,9997	ICC = 0,9907
Lagouvardos 2009	Extrahierte Zähne	2	ICC = 0,8647 $\Delta E = 3,31$		
Pusateri 2009	Keramikzähne	10	% = 96,4	% = 96,9	% = 99,9
Dozic 2007	Keramikzähne	5	$\Delta E = 0,00$		
Dozic 2007	25 Probanden	5	$\Delta E = 0,5$		
Khurana 2007	20 Probanden	2	% = 59	% = 82,7	% = 50 %
Browning 2009	16 Probanden	3	% = 91		

Tabelle 4 Literaturübersicht.

Table 4 Literature surves.

(Abb. 1–5, Tab. 1–4: C. Igiel)

Intradevice ICC	21				22				23			
	L	a	b	ΔE	L	a	b	ΔE	L	a	b	ΔE
SP	0,9760	0,9594	0,9897	0,52	0,9844	0,9580	0,9895	0,55	0,9870	0,9738	0,9895	0,51
CE	0,9917	0,9727	0,9907	0,35	0,9925	0,9692	0,9965	0,34	0,9698	0,9738	0,9880	0,52
ESc	0,8873	0,9281	0,9721	1,77	0,8562	0,9275	0,9648	2,09	0,7824	0,9656	0,9472	1,97
SV	0,8835	0,7405	0,9442	1,33	0,9164	0,7012	0,9681	1,14	0,7112	0,8225	0,8894	1,29

Interdevice ICC	21				22				23			
	L	a	b	ΔE	L	a	b	ΔE	L	a	b	ΔE
SP/CE	0,4818	0,2948	0,9619	4,05	0,6809	0,3066	0,9641	3,54	0,6900	0,4345	0,9085	3,82
SP/ESc	0,5952	0,0293	0,6931	6,18	0,5200	0,0010	0,7734	7,10	0,5809	0,1153	0,8321	6,06
SP/SV	0,6300	0,6663	0,8108	3,21	0,7195	0,7010	0,8219	3,31	0,6827	0,8125	0,7297	3,58
CE/ESc	0,4217	0,0510	0,6877	6,50	0,3581	0,1429	0,7990	7,27	0,3904	0,4264	0,7847	5,89
CE/SV	0,8121	0,1854	0,8468	3,50	0,7430	0,2160	0,8093	3,60	0,7039	0,2596	0,7970	3,56
ESc/SV	0,4357	0,0691	0,7411	6,62	0,3749	0,0065	0,7786	8,02	0,3731	0,1177	0,6735	7,16

iert werden. Diesbezüglich wurden in verschiedenen Publikationen Kolorimeter mit spektralfotometrischen Messsystemen verglichen, wobei diese, wie auch im Rahmen dieser Untersuchung festgestellt, eine akzeptable Reproduzierbarkeit bei der Bestimmung der Farbkoordinaten ($ICC > 0,7014$) aufwiesen [14, 20, 31, 32].

Ein Zusammenhang zwischen der Reproduzierbarkeit der Messergebnisse und des Zahntyps konnte im Rahmen dieser Studie nicht ermittelt werden. Diesbezüglich wurden die Oberkieferfrontzähne im Vergleich zu den Eckzähnen in der Literatur, aufgrund der erhöhten Transluzenz, als kritisch eingestuft [7, 15].

Die bereits bekannten hohen Reproduzierbarkeitswerte, die im Rahmen diverser Publikationen für Kolorimeter und Spektralfotometer evaluiert wur-

den, konnten durch die Ergebnisse dieser Untersuchung bestätigt werden [3, 19, 34, 35, 38, 39, 41]. Des Weiteren könnten die hohen Reproduzierbarkeitswerte bei dieser klinischen Untersuchung im Vergleich zu bereits durchgeführten Laboruntersuchungen auf die unter Laborbedingungen vorliegenden standardisierten Umgebungsbedingungen zurückgeführt werden [3].

Im Gegensatz zu den hervorragenden Reproduzierbarkeitswerten der getesteten Farbbestimmungssysteme zeigte der Vergleich der CIE $L^*a^*b^*$ -Koordinaten der Farbbestimmungssysteme untereinander eine deutlich geringere Übereinstimmung ($0,001 < ICC < 0,976$) mit klinisch meist nicht mehr vertretbaren Farbunterschieden ($\Delta E > 3,7$). Diese können auf verschiedene Ursachen zurückgeführt werden. Zum einen auf die verschiedenen gerä-

teinternen Belichtungsarten, sowie die unterschiedlichen Messgeometrien, Sensortechniken und der internen Verarbeitung der Farbinformationen durch die Hardware/ Filterkombination selbst [9, 26]. Es ist weiter zu beachten, dass die Farbbestimmungssysteme herstellerbedingt durch die Verwendung systeminterner Standards kalibriert werden, welche jedoch keiner Standardisierung unterliegen [24]. Es ist also erforderlich, dass die Hersteller dentaler Farbbestimmungssysteme die Genauigkeit bezüglich einer einheitlichen Standardisierung, die idealerweise CIE-konform ist, optimieren. Damit ist ein Vergleich der erzielten CIE-Koordinaten auch zwischen unterschiedlichen Farbbestimmungssystemen realisierbar [27, 43]. Hierzu sind jedoch weitere Untersuchungen zur Bestätigung dieser Erkenntnis erforderlich.

Schlussfolgerung

Die im Rahmen dieser Untersuchung evaluierten Farbbestimmungssysteme zeigten jeweils eine hohe systeminterne Übereinstimmung der ermittelten CIE L*a*b*-Farbkoordinaten. Im Gegensatz dazu wurde lediglich eine geringe Übereinstimmung zwischen den Ergebnissen der unterschiedlichen Farbbestimmungssysteme festgestellt. Dahin gehend ist anzumerken, dass die Ergeb-

nisse der im Rahmen dieser Untersuchung evaluierten Farbbestimmungssysteme nicht miteinander vergleichbar sind.

Interessenkonflikt: Die Autoren erklären, dass kein Interessenkonflikt im Sinne der Richtlinien des International Committee of Medical Journal Editors besteht. Dr. *Karl Martin Lehmann* übt eine Beratungstätigkeit für die Vita Zahnfabrik GmbH & Co. KG aus.

Korrespondenzadresse

Dr. Christopher Robin Igiel
Universitätsmedizin der Johannes
Gutenberg Universität Mainz
Poliklinik für Prothetik
Augustusplatz 2
55131 Mainz
E-Mail:
christopher.igiels@unimedizin-mainz.de

Literatur

- Bolt RA, Bosch JJ, Coops JC: Influence of window size in small-window colour measurement, particularly of teeth. *Phys Med Biol* 39, 1133–1142 (1994)
- Browning WD et al.: A comparison of human raters and an intra-oral spectrophotometer. *Oper Dent* 34, 337–343 (2009)
- Chu SJ, Trushkowsky RD, Paravina RD: Dental color matching instruments and systems. Review of clinical and research aspects. *J Dent* 38(Suppl 2), e2–16 (2010)
- Chu SJ, Devigus A, Mielezko AJ: Dentale Farbenlehre: Farbbestimmung und Farbkommunikation in der ästhetischen Zahnmedizin. Quintessenz, Berlin 2005, 158
- Culpepper WD: A comparative study of shade-matching procedures. *J Prosthet Dent* 24, 166–173 (1970)
- Da Silva JD et al.: Clinical performance of a newly developed spectrophotometric system on tooth color reproduction. *J Prosthet Dent* 99, 361–368 (2008)
- Della Bona A et al.: Visual and instrumental agreement in dental shade selection: three distinct observer populations and shade matching protocols. *Dent Mater* 25, 276–281 (2009)
- Donahue JL et al.: Shade color discrimination by men and women. *J Prosthet Dent* 65, 699–703 (1991)
- Douglas RD, Steinhauer TJ, Wee AG: Intraoral determination of the tolerance of dentists for perceptibility and acceptability of shade mismatch. *J Prosthet Dent* 97, 200–208 (2007)
- Dozic A et al.: Color coverage of a newly developed system for color determination and reproduction in dentistry. *J Dent* 38(Suppl 2), e50–56 (2010)
- Dozic A et al.: Performance of five commercially available tooth color-measuring devices. *J Prosthodont* 16, 93–100 (2007)
- Faber FJ: Die Bestimmung der Zahnfarbe. *Dtsch Zahnärztl Z* 57, 448–449 (2002)
- Ghinea R et al.: Color difference thresholds in dental ceramics. *J Dent* 38(Suppl 2), e57–64 (2010)
- Goldstein GR, Schmitt GW: Repeatability of a specially designed intraoral colorimeter. *J Prosthet Dent* 69, 616–619 (1993)
- Hassel AJ et al.: Interexaminer reliability in clinical measurement of L*C*h* values of anterior teeth using a spectrophotometer. *Int J Prosthodont* 20, 79–84 (2007)
- Ishikawa-Nagai S et al.: Spectrophotometric analysis of tooth color reproduction on anterior all-ceramic crowns: Part 1: analysis and interpretation of tooth color. *J Esthet Restor Dent* 22, 42–52 (2010)
- Ishikawa-Nagai S et al.: Clinical evaluation of perceptibility of color differences between natural teeth and all-ceramic crowns. *J Dent* 37(Suppl 1), e57–63 (2009)
- Jarad FD, Russell MD, Moss BW: The use of digital imaging for colour matching and communication in restorative dentistry. *Br Dent J* 199, 43–49; discussion 33 (2005)
- Johnston WM: Color measurement in dentistry. *J Dent* 37(Suppl 1), e2–6 (2009)
- Johnston WM, Kao EC: Assessment of appearance match by visual observation and clinical colorimetry. *J Dent Res* 68, 819–822 (1989)
- Junker-Malcharek A, Kroszewsky KK: Farbbestimmung mit der Vitapanclassical- und Vitapan-3D-Master-Farbskala im Vergleich. *Dtsch Zahnärztl Z* 57, 562–565 (2002)
- Karaagaciloglu L et al.: In vivo and in vitro assessment of an intraoral dental colorimeter. *J Prosthodont* 19, 279–285 (2010)
- Khurana R et al.: A clinical evaluation of the individual repeatability of three commercially available colour measuring devices. *Br Dent J* 203, 675–680 (2007)
- Kim-Pusateri S et al.: Reliability and accuracy of four dental shade-matching devices. *J Prosthet Dent* 101, 193–199 (2009)
- Kim-Pusateri S et al.: In vitro model to evaluate reliability and accuracy of a dental shade-matching instrument. *J Prosthet Dent* 98, 353–358 (2007)
- Lagouvardos PE et al.: Repeatability and interdevice reliability of two portable color selection devices in matching and measuring tooth color. *J Prosthet Dent* 101, 40–45 (2009)
- Lehmann KM et al.: Repeatability of color-measuring devices. *Eur J Esthet Dent* 6, 462–470 (2011)
- Lehmann KM et al.: Four color-measuring devices compared with a spectrophotometric reference system. *J Dent* 38(Suppl 2), e65–70 (2010)
- Luo W et al.: Development of a whiteness index for dentistry. *J Dent* 37(Suppl 1), e21–26 (2009)
- Miller LL: Shade matching. *J Esthet Dent* 5, 143–153 (1993)
- O'Brien WJ, Nelson D, Lorey RE: The assessment of chroma sensitivity to porcelain pigments. *J Prosthet Dent* 49, 63–66 (1983)
- Okubo SR et al.: Evaluation of visual and instrument shade matching. *J Prosthet Dent* 80, 642–648 (1998)
- Preston JD: Current status of shade selection and color matching. *Quintessence Int* 16, 47–58 (1985)
- Ratzmann A et al.: Experimental investigations into visual and electronic tooth color measurement. *Biomed Tech (Berl)* 56, 115–122 (2011)
- Ratzmann A et al.: Reproducibility of electronic tooth colour measurements. *Biomed Tech (Berl)* 53, 259–263 (2008)
- Seghi RR, Johnston WM, O'Brien WJ: Performance assessment of colorimetric devices on dental porcelains. *J Dent Res* 68, 1755–1759 (1989)
- Sproull RC: Color matching in dentistry. Part I. The three-dimensional nature of color. 1973. *J Prosthet Dent* 86, 453–457 (2001)
- Tung FF et al.: The repeatability of an intraoral dental colorimeter. *J Prosthet Dent* 88, 585–590 (2002)

39. Yap AU et al.: Human-eye versus computerized color matching. *Oper Dent* 24, 358–363 (1999)
40. Yilmaz B et al.: Effects of shade tab arrangement on the repeatability and accuracy of shade selection. *J Prosthet Dent* 105, 383–386 (2011)
41. Yu B, Ahn JS, Lee YK: Measurement of translucency of tooth enamel and dentin. *Acta Odontol Scand* 67, 57–64 (2009)
42. Wee AG, Monaghan P, Johnston WM: Variation in color between intended matched shade and fabricated shade of dental porcelain. *J Prosthet Dent* 87, 657–666 (2002)
43. Wyble DR, Rich, DC: Evaluation of methods for verifying the performance of color-measuring instruments. Part II: Inter-instrument reproducibility. *Color Research & Application*, 2007. 32, 176–194. doi: 10.1002/col.20308



RISIKEN UND NEBENWIRKUNGEN = VON SPECTATOR TEAM

INTEVI

Fundierte Kenntnisse und Fortbildungsangebote für Ihr Team.
Mehr Effizienz im Praxisalltag. Jeden Monat in SPECTATOR
team. Jeden Monat mit SPECTATOR DENTISTRY in Ihrem
Briefkasten.

