

Constanze Olms, Valerie Martin

Reproduzierbarkeit und Reliabilität intraoraler Spektrophotometer*

Warum Sie diesen Beitrag lesen sollten?

Durch die stetige Optimierung zahnärztlicher Werkstoffe und die steigenden Ansprüche der Patienten an die Ästhetik gewinnt die objektive und reproduzierbare Zahnfarbbestimmung immer mehr an Bedeutung.

Einführung:

Seit den 70er-Jahren des letzten Jahrhunderts sind die computergestützten digitalen Farbmessgeräte, welche die Zahnfarbbestimmung im Praxisalltag vereinfachen und präzisieren sollen, auf dem Dentalmarkt erhältlich. Die vorliegende, experimentelle Studie untersuchte die Reproduzierbarkeit, Reliabilität sowie die Interrater-Reliabilität der dentalen Spektrophotometer QuattroShade (QS, Goldquadrat GmbH, Hannover, Deutschland) und VITA Easyshade Advance 4.0 (VES, Vita Zahnfabrik, Bad Säckingen, Deutschland).

Material und Methode:

Unter klinisch simulierten Bedingungen wurden die Zahnfarben und L*a*b*-Daten an 2 extrahierten humanen Zähnen (Zahn 12 und 21) bestimmt. Im ersten Versuchsaufbau (I) führte ein Benutzer mit beiden Geräten an beiden Zähnen 3 Messdurchgänge durch. Kalibriert wurde nach jeder 1., nach jeder 5. und nach jeder 10. Messung (n = 250). Im 2. Aufbau (II) erhoben insgesamt 51 Probanden mit beiden Geräten an Zahn 21 Dreifachmessungen (n = 153). Eine Kalibrierung fand vor jedem Benutzerwechsel statt. Im Rahmen des 3. Versuchs (III) maß ein Anwender Zahn 21 insgesamt n = 153 Mal mit einer Kalibrierung nach jeder 3. Messung. Die statistische Auswertung erfolgte mit dem Statistikprogramm SPSS (Inc., U.S.A für Windows Version 24.0).

Ergebnisse:

Es gab statistisch signifikante Unterschiede (Wilcoxon-Test; Friedman-Test, $p \leq 0,05$) zwischen den Messungen für die Reproduzierbarkeit innerhalb wie auch zwischen den Geräten. Eine Korrelation zwischen häufiger und seltener Kalibrierung war zu erkennen. Die Streuung der Werte war bei seltener Kalibrierung (nach 10 Messungen) geringer als bei häufiger Kalibrierung (nach jeder Messung). Die Reproduzierbarkeit der L*a*b*-Werte war beim VES höher als im Vergleich zum QS. Bezüglich der Reliabilität konnten geringe Unterschiede der ΔE -Werte bei beiden Geräten festgestellt werden. Bei einem Benutzerwechsel wies das QS bessere Werte auf als das VES. Alle Abweichungen befanden sich jedoch in einem Bereich, welcher als klinisch nicht relevant angesehen werden kann ($\Delta E = 0,8-2,2$).

Schlussfolgerung:

Die Ergebnisse dieser Studie zeigen, dass beide Geräte zur Zahnfarbbestimmung im Praxisalltag geeignet sind. Eine visuelle Kontrolle sollte dennoch mithilfe einer konventionellen Farbskala erfolgen.

Schlüsselwörter: digitale Zahnfarbbestimmung; Spektrophotometer; Reproduzierbarkeit; Reliabilität

Universitätsklinikum Leipzig AÖR, Department für Kopf- und Zahnmedizin, Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik und Werkstoffkunde, Leipzig; PD Dr. Constanze Olms, MME, Valerie Martin

*Deutsche Übersetzung der englischen Version Olms C, Martin V: Reproducibility and reliability of intraoral spectrophotometers. Dtsch Zahnärztl Z Int 2019; 1: 67-75

Zitierweise: Olms C, Martin V: Reproduzierbarkeit und Reliabilität intraoraler Spektrophotometer. Dtsch Zahnärztl Z 2019; 74: 102-111

Peer-reviewed article: eingereicht: 16.08.2017, revidierte Fassung akzeptiert: 22.06.2018

DOI.org/10.3238/dzz.2019.0102-0111

Reproducibility and reliability of intraoral spectrophotometers

Introduction: In the 1990s computerized tooth colour measuring instruments were introduced on to the dental market that facilitated the practical recording of tooth shades in everyday practice. This experimental study evaluated two such devices; comparing the reproducibility, reliability and interreliability of the dental spectrophotometer QuattroShade (QS, Goldquadrat GmbH, Hannover, Germany) and the VITA Easyshade Advance 4.0 (VES, Vita Zahnfabrik, Bad Säckingen, Germany).

Material and Method: Under simulated clinical conditions the tooth colours and L*a*b* data were measured for 2 extracted human teeth (tooth 12 and tooth 21) in three experimental phases. (I) 3 series of measurements were taken using both devices on both teeth. Initially, calibration took place after every measurement, then in the two following series at intervals after every five and ten measurements respectively (n = 250). (II) 51 recruits each made three measurements (n = 153) for tooth 21 using both devices. Equipment was calibrated before each new user. (III) tooth 21 was measured 153 times (n = 153) with calibration after every third reading. The statistical program SPSS (Inc., U.S.A for windows version 24.0) was used to analyse the data.

Results: Significant differences (Wilcoxon-test, Friedman-test, $p \leq 0.05$) were found between the reproducibility measurements of each device. A comparison of measurements between the devices also showed differences. A correlation between frequent and longer calibration intervals was evident. Less deviation occurred with fewer calibrations (after every ten measurements) than with more frequent calibrations (after each measurement). The reproducibility of the L*a*b* values was higher using the VES when compared to the QS. Concerning reliability, slight differences in delta (Δ) E values were noted for both devices. The QS showed better values between multiple users than the VES. All deviations are not relevant for clinical purposes ($\Delta E = 0.8-2.2$).

Conclusion: This study has shown that both devices for tooth colour determination are suitable for daily practice. However, a visual check should still be made with a conventional colour scale.

Keywords: digital tooth colour determination; spectrophotometer; reproducibility; reliability

Einleitung

Eines der Ziele der restaurativen Zahnheilkunde ist es, dem Patienten zu einem ästhetisch ansprechenden Lächeln zu verhelfen [31]. Dies ist eine anspruchsvolle Aufgabe, da das menschliche Auge in der Lage ist, kleinste Farbunterschiede zwischen 2 benachbarten Zähnen, z.B. 2 mittleren Schneidezähnen, genau zu erkennen. Für die Herstellung von

Zahnersatz gilt die visuelle Farbauswahl als Standardverfahren. Hierbei wird die Zahnfarbe des Patienten im Mund mit standardisierten Farbskalen verglichen und die entsprechende Zahnfarbe an das Dentallabor übermittelt. Eine eindeutige Farbbestimmung ist jedoch schwierig, da die einzelnen Zahnregionen (mittleres Zahndrittel, Zahnhals, Schneidekannte) eintreffendes Licht unterschied-

lich reflektieren [25]. Zudem ist die Farbwahrnehmung und damit die Entscheidung darüber, welche Farbe der Farbskala der Zahn- bzw. Zahnersatzfarbe des Patienten entspricht, von zahlreichen exogenen und endogenen Faktoren abhängig [4, 8, 13, 27, 42].

Mit der Entwicklung apparativer Messungen der Zahnfarbe erschien die Problematik besonders in den 90er-Jahren zunächst gelöst. Die Zahnfarbe sollte mithilfe eines Messgeräts ermittelt werden, welches die Farbe erkennt und anhand einer Farbskala exakt beschreibt. Allerdings ist auch die Skepsis gegenüber der Zuverlässigkeit und Genauigkeit solcher Farbmessgeräte wie Spektrophotometer, Kolorimeter und Digitalkameras groß [2]. Beide in dieser Studie vorgestellten und evaluierten Farbmessgeräte zählen zu den Spektrophotometern.

Das VITA Easyshade Advance 4.0 (Vita Zahnfabrik, Bad Säckingen, Deutschland) ist ein tragbares Farbbestimmungssystem zur intraoralen Farbnahme von einzelnen Zähnen. Das erste Vorgängermodell wurde 2004 eingeführt und ist seither auf dem Dentalmarkt erhältlich [14]. Es besteht aus einer Basiseinheit und einem Handstück. Beide sind miteinander verbunden. Die Datenübertragung zwischen dem Handstück und der elektrischen Basiseinheit erfolgt über eine USB-Schnittstelle. Die elektronische Einheit umfasst eine Lampe, ein Vacuum Fluorescent Display (VFD), Navigationstaste, Auswahlstaste, die Central Processing Unit (CPU) und einen abnehmbaren Kalibrierungsblock für den Weißabgleich zur Sicherstellung der konstanten Zuverlässigkeit bei der Zahnfarbbestimmung. Das Messgerät beleuchtet ein Objekt mit genormtem Licht (Beleuchtungswinkel von 0° bis 30°) über die gesamte Messfläche und misst die Intensität des Lichts, welches von diesem Objekt in Form einer bestimmten Wellenlänge im Bereich 400–700 nm für jede Helligkeit, Sättigung und jeden Farbton reflektiert wird. Unter Verwendung einer D-65-Lichtart (6500 K) und einem Betrachterwinkel von 2° wird die jeweilige Farbe errechnet. Während einer Messung werden die meisten

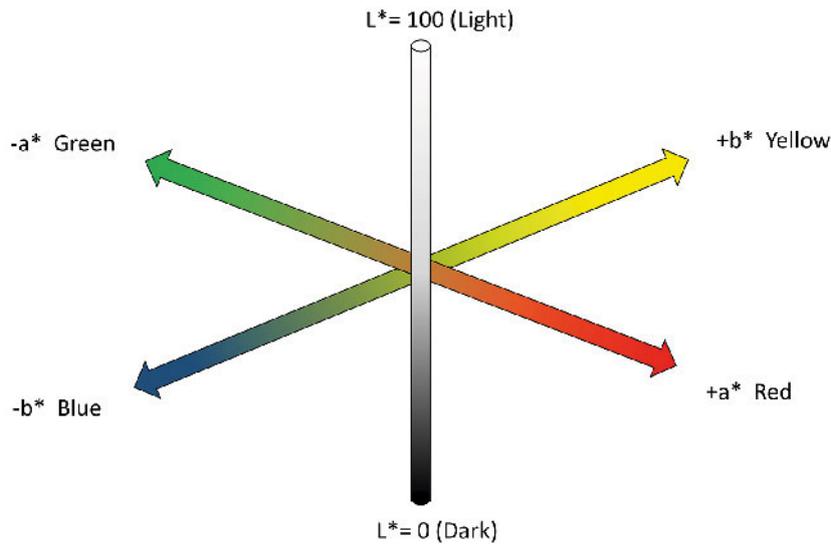


Abbildung 1 Das L*a*b*-System

Zähne in ihrem mittleren und zervikalen Drittel abgedeckt. Das Licht wird durch den Zahnschmelz hindurch gestreut und auf das Dentin geworfen. Das Dentin reflektiert daraufhin das Licht teilweise zur Sonde zurück. Das Spektrophotometer ist nur in der Lage, transluzente Materialien zu messen. Ist ein Dentalmaterial zu dünn oder ein Zahn zu transparent, so sind die erhaltenen Messwerte zu niedrig. Das VES ist für Dentalmaterialien mit einer Mindeststärke von 0,7 mm optimiert und für die zahn-typische Transluzenz ausgelegt. Des Weiteren verfügt es über eine 20-Watt-Halogenlampe mit einem verstärkten Glühfaden aus Wolfram. Seine Lichtquelle mit einer Farbtemperatur von 3350 K umfasst das gesamte sichtbare Spektrum bis hin zum Infrarotbereich. Die durchschnittliche Lebensdauer der Lampe liegt bei etwa 100 h und ist innerhalb 15 sec betriebsbereit [24, 33, 43]. Ein Nachfolgemodell, das VITA Easyshade V ist seit 2015 erwerbbar.

Das QuattroShade (Goldquadrat GmbH, Hannover, Deutschland) ist ein portables Zahnfarbbestimmungsgerät und seit 2015 verfügbar. Es zerlegt und identifiziert, anders als das VITA Easyshade, die Zahnfarbe über die gesamte Zahnfläche hinweg. Es besteht aus 2 Lichtquellen, einigen magnetischen Blenden und einem speziell beschichteten Beugungsgitter, welches das Messlicht in die Spek-

tralfarben zerlegt. Wenn der am Messkopf befindliche Messknopf betätigt wird, schalten die Blenden um. Sie wechseln dabei von der Beleuchtungsquelle für die digitale Kamera auf die Lichtquelle für die spektrophotometrischen Farbmessungen. Das Licht wird am Gitter in 10-nm-Intervalle zerlegt, und die einzelnen Wellenlängen werden zeitlich versetzt durch den Lichtleiter zum Messkopf transportiert. Vor dem Austritt aus dem Messkopf spaltet sich der Lichtleiter so, dass das Objekt von 2 Seiten im 45°-Winkel von monochromatischem, polarisiertem Licht beleuchtet wird. Der vom Messkopf reflektierte Anteil fällt im 0°-Winkel auf den monochromatischen Photosensor (Charge Coupled Device, CCD), der speziell für die Registrierung der Wellenlängen von 410–680 nm optimiert ist. Die Messgeometrie ist eine 2x45°/0°-Geometrie. Die vom CCD erhaltenen Daten werden von einer „Leutron Frame Grabber Card“ optimiert und in 20-nm-Schritten aufbereitet. Daraufhin werden sie mit der QuattroShade-Software ausgewertet. Das gemessene Areal umfasst ca. 18 x 14 mm, gemessen in 640 x 480 Punkten. Neben dem monochromatischen CCD-Sensor für die Farbmessung beinhaltet der Messkopf einen 2. polychromatischen CCD-Sensor für die bildliche Echtzeit-Farb-Darstellung des Zahns auf dem Bildschirm. Eine integrierte

Autofokusschicht liefert scharfe Bilder. Das benötigte Licht kommt aus der 12-Volt-, 100-Watt-Halogenlampe, welche im Gehäuse des Messkopfs positioniert ist. Die Farbdaten werden von der Software mit werkseitig eingelesenen Farbringen verglichen. Integriert sind alle gängigen Farbskalen [10, 24, 44].

Farbsystem und ΔE -Wert

Als das häufigste in zahnärztlichen Studien verwendete Farbsystem ist das CIE- L*a*b*/C*h*-System zu nennen. Es ist standardisiert und bezieht die für den menschlichen Farbeindruck wesentlichen Farbdimensionen mit ein [3]. Mit diesem System ist es insbesondere bei Verwendung elektronischer Zahnfarbbestimmungsgeräte möglich, genaue Ergebnisse in der Zahnfarbbestimmung zu erhalten [24]. L* ist ein Maß für die Helligkeit eines Objekts, a* ein Maß für die Rötlichkeit oder Grünlichkeit und b* ein Maß für die Gelblichkeit oder Bläulichkeit. Der Aufbau des L*a*b*-Systems ist der Abbildung 1 zu entnehmen: Jede Farbe erhält eine bestimmte Lokalisation im dreidimensionalen Farbraum und wird quantitativ durch die Angabe von 3 unabhängigen Koordinaten, den L*a*b*-Werten, beschrieben.

Bei der Erhebung der Zahnfarbe steht vor allem die Bestimmung des Zusammenspiels der Größen Helligkeit (L*), Farbintensität (C*) und Farbton (h*) im Vordergrund, welche relevante Farbcharakteristika darstellen und sich daher bei der Farbformulierung für den Praktiker als unproblematischer erweisen. Es werden die a*- und b*-Koordinaten in den Wert Farbintensität (C*) und den Farbton (h*) umgerechnet [3].

Für die Definition der Wahrnehmung des Unterschieds zweier Farben steht der ΔE -Wert. Delta (Δ) steht für den Unterschied, E ist die Abkürzung für Empfindung. ΔE spiegelt somit die vom menschlichen Auge empfundene Differenz zweier Farborte wider [1].

Die Berechnung des ΔE -Wertes erfolgt durch die Koordinaten im L*a*b*-Farbraum [1]. Sie folgt der pythagoräischen Berechnungsformel für die Raumdiagonale:

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

Die Berechnungsformel zeigt, dass der ΔE -Wert auf die absolute Größe

der Farbdistanz zwischen Referenzfarbe (z.B. die Farbe in einer Farbskala) und Prüffarbe (die festzustellende Farbe des natürlichen Zahns) hinweist. Auf welchen Parameter (Helligkeit L^* , Farbintensität C^* , Farbton h^*) die Abweichung ΔE zurückzuführen ist, kann dem Wert jedoch nicht entnommen werden. Die Berechnungen der ΔE -Werte zeigen für alle vorkommenden Zahnfarben, dass sich Helligkeit (L^*) und Farbintensität (C^*) gemeinsam etwa 25-mal stärker als der Farbton (h^*) auf die Empfindung des Farbunterschieds auswirken. Der Grund ist die geringe Rot-Gelb-Distanz bei natürlichen Zähnen, weshalb der Farbton nur eine untergeordnete Rolle einnimmt [1]. Gegenübergestellt orientiert sich die menschliche Wahrnehmung bei der Übereinstimmung oder Differenz von Zahnfarben maßgeblich am Kriterium der Helligkeit (L^*), welche daher am stärksten gewichtet werden sollte. Fehler im Farbton oder auch in der Farbintensität beeinflussen den Eindruck von Farbübereinstimmung in nur geringem Maße [3].

Paravina et al. [36] fanden heraus, dass Farben, welche um $\Delta E < 1,5-2$ differieren, nahe beieinanderliegen und vom menschlichen Auge nur schwer als Farbdifferenz wahrnehmbar sind. Elf Jahre später ermittelten Paravina et al. [38] ΔE -Werte von 1,2–2,7. Der Wert $\Delta E = 1$ ist als der kleinste Farbunterschied definiert, den das menschliche Auge unter optimalen Bedingungen gerade noch erkennen kann [3]. Liegt bei einem Vergleich zwischen Referenzzahn und Rekonstruktion der ΔE -Wert über 5, empfindet das menschliche Auge die Farbabweichung als störend groß [20]. King und deRjik [23] schlugen für den Farbunterschied folgende Klassifizierung vor:

- $\Delta E \hat{=} 0-2$: nicht wahrnehmbar
- $\Delta E \hat{=} 2-3$: kaum wahrnehmbar
- $\Delta E \hat{=} 3-8$: z.T. wahrnehmbar
- $\Delta E > 8$: wahrnehmbar.

Zielstellung

Die vorliegende experimentelle Studie untersuchte die Reproduzierbarkeit, Reliabilität sowie Interrater-Reliabilität der dentalen Spektrophotometer QuattroShade (QS) und Vita

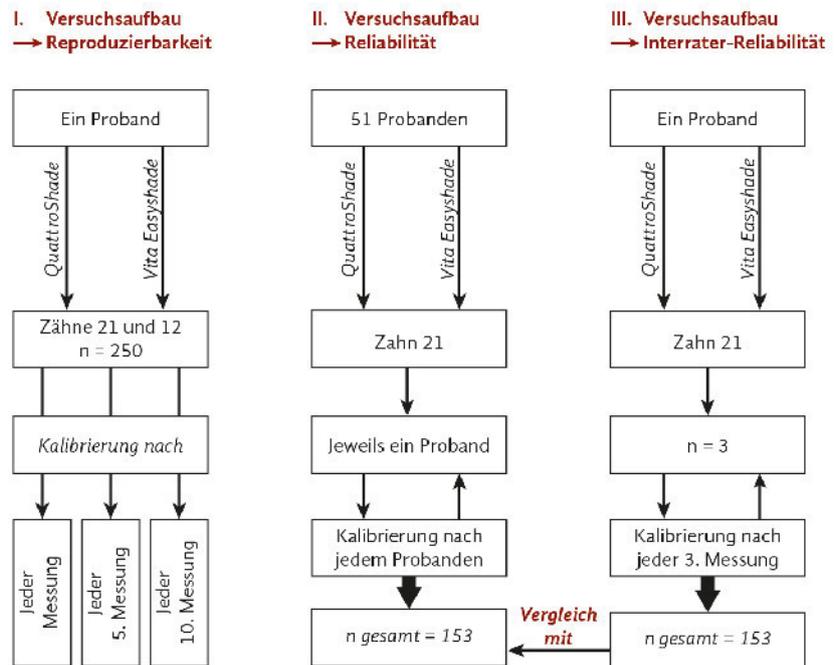


Abbildung 2 Überblick über die 3 Versuchsaufbauten

Easysshade Advance 4.0 (VES). Ziel war es, die Güte der Farbestimmung der beiden Dentalspektrophotometer zu evaluieren. Speziell sollte die Frage geklärt werden, ob sich unter standardisierten Bedingungen die messtechnisch durchgeführten Farbestimmungen innerhalb der Messreihe desselben Geräts wie auch zwischen den Messreihen beider Geräte unterscheiden. Das Verhalten nach einem Benutzerwechsel wie auch unterschiedliche Kalibrierungssequenzen wurden in der Studie ebenfalls berücksichtigt.

Hypothesen

Um eine Beantwortung dieser Fragen anhand von Messergebnissen zu ermöglichen, wurden folgende Nullhypothesen aufgestellt:

1. Unabhängig von Anwenderzahl und Kalibrierungssequenz produziert jedes Gerät bei gleichbleibendem Input gleichbleibende (reproduzierbare) und reliable Farbmessergebnisse.
2. Die ΔE -Werte beider Geräte zeigen keinen signifikanten Unterschied ($p > 0,05$).
3. Die $L^*a^*b^*/C^*h^*$ -Werte aus Dreifachmessungen mit beiden Geräten unterscheiden sich nicht signifikant ($p > 0,05$).

Material und Methoden

Für die In-vitro-Studie wurden 2 extrahierte humane Schneidezähne (Zahn 21 und 12) zur Lagerung in physiologischer Kochsalzlösung aufbewahrt. Um Fehlermeldungen oder Irritationen bei der Farbmessung auszuschließen, waren die Zähne frei von jeglichen direkten und indirekten Restaurationen. Zur Vorbereitung wurden beide Zähne mittels Ultraschall und Polieren gereinigt, sodass keine exogenen Ablagerungen mehr vorhanden waren. Ihre Wurzeln wurden gekürzt, um die Zahnkronen dem Gingivaverlauf des Oberkiefermodells (KaVo, EWL Basic-Modell Oberkiefer/Unterkiefer V16) anzupassen und die Zähne darin zu fixieren. Das Oberkiefermodell wurde im dafür vorgesehenen Phantomkopf (KaVo, G50) fixiert und anschließend an einer passenden Phantomeinheit befestigt. Das jeweilige Gerät konnte für die Messaufnahmen in Position gebracht werden. Die Umgebung während der Farbmessungen entsprach den allgemeingültigen Normen für zahnärztliche Arbeitsplätze. Leuchtstoffröhren (400–500 nm) und indirektes Tageslicht dienten der Beleuchtung. Um den Einfluss weiterer Lichtquellen zu minimieren und möglichst einheitliche praxisähnliche Bedingungen zu schaffen,

| | 25. Perzentile | Median | 75. Perzentile | Minimum | Maximum | Anzahl |
|-----------------------------------|----------------|-----------|----------------|-----------|-----------|---------|
| L (QS/VES) 1. Messung | 77,1/82,6 | 78,4/83,0 | 79,2/83,6 | 73,7/81,8 | 79,8/92,6 | 250/250 |
| L (QS/VES) 5. Messung | 78,9/81,8 | 79,1/82,3 | 79,2/82,7 | 78,2/79,0 | 79,9/86,2 | 250/250 |
| L (QS/VES) 10. Messung | 76,4/81,3 | 76,8/81,8 | 77,2/82,2 | 75,2/78,4 | 78,1/84,4 | 250/250 |
| a (QS/VES) 1. Messung | 2,9/2,5 | 3,0/2,6 | 3,1/2,8 | 4,4/0,8 | 3,8/3,2 | 250/250 |
| a (QS/VES) 5. Messung | 3,2/2,3 | 3,4/2,4 | 3,5/2,6 | 18,8/1,9 | 3,9/3,0 | 250/250 |
| a (QS/VES) 10. Messung | 3,1/2,1 | 3,2/2,2 | 3,3/2,3 | 0,6/1,8 | 3,6/3,0 | 250/250 |
| b (QS/VES) 1. Messung | 18,5/27,1 | 18,7/27,6 | 18,8/28,1 | 18,0/17,8 | 28,8/29,0 | 250/250 |
| b (QS/VES) 5. Messung | 18,7/26,4 | 18,9/27,0 | 19,2/27,4 | 18,4/25,4 | 43,9/28,8 | 250/250 |
| b (QS/VES) 10. Messung | 20,6/25,7 | 21,1/26,2 | 21,5/26,6 | 19,1/24,7 | 24,6/28,4 | 250/250 |

Tabelle 1 Datentabelle Reproduzierbarkeit, QS/VES, L*/a*/b*-Werte

(Abb. 1–4, Tab. 1: V. Martin)

blieb die Operationsleuchte der Behandlungseinheit während der Messungen ausgeschaltet. Nach Herstellerangaben arbeiten beide Geräte unabhängig von Umgebungslicht und unterschiedlichen Lichtverhältnissen [10, 43]. Zu Beginn der Untersuchungen wurde die „tatsächliche“ Zahnfarbe der extrahierten Zähne von 10 Zahnärzten des Departments, die erfahren in der visuellen Zahnfarbestimmung mit der VITA-3D-Master-Farbskala waren, bestimmt. Die Zahnfarbe der extrahierten Frontzähne wurde unter optimalen Bedingungen (Tageslicht in der Mittagszeit, grauer Hintergrund) ermittelt. Die Verfasser der Studie nahmen nicht daran teil.

Die Anleitungen der Hersteller zur Handhabung der Geräte wurden genau befolgt.

Um exakte und reproduzierbare Messergebnisse zu erhalten, sollte beim Easyshade-System eine individuell hergestellte Tiefziehschiene verwendet werden [5, 15, 33]. Der

Messkopf des VES konnte somit bei jeder Messung an einer identischen Stelle am Zahn positioniert werden. Das QS misst den Zahn ohne Verwendung einer solchen Justierungshilfe.

Einen Überblick über die 3 Versuchsaufbauten, die im Folgenden wiedergegeben werden, gibt das Flussdiagramm in Abbildung 2.

Im 1. Versuchsaufbau (I) wurden die Reproduzierbarkeit der Messungen mit dem QS und dem VES sowie der Einfluss der Kalibrierungssequenz analysiert. Die Messungen beider Geräte wurden hierbei von einem Anwender durchgeführt. Unter klinisch simulierten Bedingungen wurden beide Zähne (Zahn 21 und 12) nacheinander mit beiden Geräten gemessen. Im 1. Messdurchgang erfolgte nach jeder Messung die Kalibrierung (n = 250), im 2. Durchgang wurde jeweils nach 5 Messungen kalibriert (n = 250), und im 3. Messdurchgang erfolgte die Kalibrierung nach jeder 10. Messung (n = 250). Die Unter-

sucherin, weiblich, 25 Jahre, Zahnmedizinstudentin des 9. Fachsemesters, erhielt eine detaillierte Instruktion der Geräte. Vorherige Erfahrungen mit Zahnfarbbestimmungsgeräten existierten keine.

Der 2. Versuchsaufbau (II) diente der wissenschaftlichen Untersuchung der Reliabilität beider Geräte. Insgesamt 51 Zahnmedizinstudenten der Vorklinik erhoben nacheinander mit beiden Geräten an Zahn 21 Dreifachmessungen (n = 153). Eine Kalibrierung fand vor jedem Benutzerwechsel statt. Der Zahn wurde zuvor und zwischen den Messreihen in physiologischer Kochsalzlösung gelagert, vor der Versuchsreihe gesäubert, in das identische Oberkiefermodell (KaVo, EWL Basic-Modell Oberkiefer/Unterkiefer V16) befestigt und in der Phantomeinheit fixiert. So konnten die gleichen standardisierten Bedingungen des Versuchsaufbaus I hergestellt werden. Jeder Student erhielt eine detaillierte Geräteinstruktion. Die Rekrutierung der vorklinischen

Studenten fand im Phantomkurs II des 5. Fachsemesters des Universitätsklinikums Leipzig statt. Alle Probanden erhielten ein detailliertes Curriculum zur Farbdifferenzierung [35] mit theoretischen und praktischen Inhalten, jedoch wurden noch keine praktischen Anwendungsübungen mit digitalen intraoralen Messgeräten durchgeführt.

Zur Untersuchung der Interrater-Reliabilität beider Geräte wurde ein 3. Versuchsaufbau (III) aufgestellt. Im Rahmen dieser Versuchsreihe maß ein Anwender Zahn 21 insgesamt $n = 153$ Mal mit einer Kalibrierung nach jeder 3. Messung. Die Ergebnisse konnten mit den Ergebnissen aus Versuch II (51 Probanden, Kalibrierung nach jeder 3. Messung) verglichen werden.

Aus Gründen der Vergleichbarkeit der Daten wurde jeweils die Gesamtzahnfarbe des Zahns für die Auswertung herangezogen. Das VES verfügt hierfür über den Betriebsmodus „Grundfarbenbestimmung am natürlichen Zahn“. In seltenen Fällen gab das VES Mischfarbtöne aus (z.B. 1M2–2M2). Hier ging der zuerst genannte Farbton in die Auswertung ein. Das QS ist in der Lage, mit einer Messung eine Durchschnittszahnfarbe aus den 3 Dritteln zervikal, zentral und inzisal aus seinen bereichsspezifischen Messungen zu generieren und anzugeben. Hierfür gibt es die Analyseoption „Ermittlung der Gesamtfarbe“, welche für die Messungen ausgewählt wurde. Die am Modell mit den 2 Geräten bestimmten Zahnfarben wurden im VITA-3D-Master-Farbsystem dokumentiert. Je nach Fragestellung erfolgte für die sich später anschließende Auswertung eine entsprechende Einteilung. Alle von den Geräten ausgegebenen $L^*a^*b^*/C^*h^*$ -Werte wie auch die Durchschnittsfarbe wurden nach jeder Messung notiert. Die daraus berechenbaren ΔL -, Δa -, Δb -, ΔC -, Δh - und ΔE -Werte wurden in eine Excel-Tabelle überführt. Die anschließende statistische Auswertung der Messergebnisse wurde mithilfe einer entsprechenden Software (Statistikprogramm SPSS Inc., U.S.A für Windows Version 24.0) durchgeführt. Medianwert und Quartile jeder Messreihe wurden errechnet und

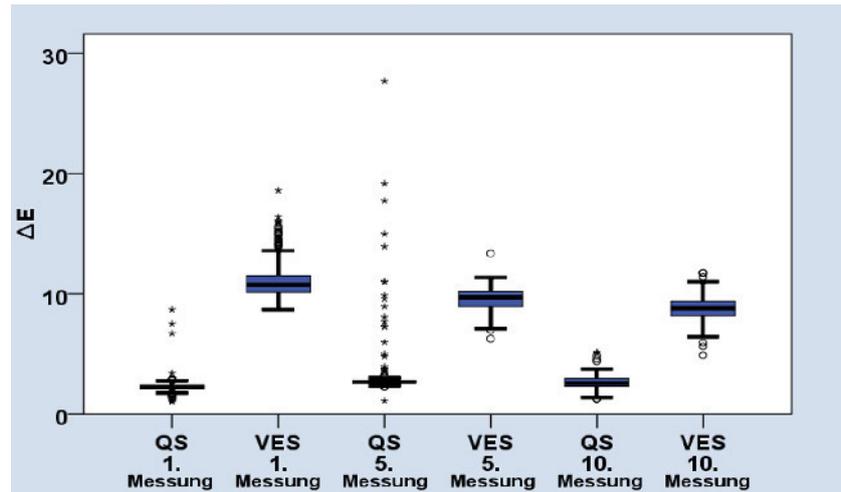


Abbildung 3 ΔE , Zahn 12, Kalibrierung nach 1, 5 und 10 Messungen, QS und VES

mit dem Wilcoxon-Test bzw. Friedman-Test auf Signifikanz ($p < 0,05$) geprüft.

Ergebnisse

Es zeigten sich statistisch signifikante Unterschiede (Wilcoxon-Test; Friedman-Test, $p \leq 0,01$) zwischen den Messungen für die Reproduzierbarkeit innerhalb wie auch zwischen den Geräten, sowohl bei einem und mehreren Anwendern. Abweichungen der $L^*a^*b^*$ -Messdaten wie auch eine Korrelation zwischen häufiger und seltener Kalibrierung waren zu erkennen. Die Streuung der Daten war bei häufiger Kalibrierung (nach jeder Messung) höher als bei seltener Kalibrierung (nach jeder 10. Messung) (Tab. 1). Die Reproduzierbarkeit der $L^*a^*b^*$ -Werte war beim VES höher, verglichen zum QS.

Für die ΔE -Werte innerhalb der einzelnen Geräte (Friedman-Test) wie auch zwischen den Geräten (Wilcoxon-Test) gab es jeweils signifikante Unterschiede ($p < 0,05$). Die Abbildung 3 zeigt für jeweils beide Geräte die Abweichungen aller ΔE -Werte sowie einen Vergleich der Werte bei Kalibrierung nach jeder 1., nach jeder 5. und nach jeder 10. Messung. Für das QS war ein auffallend hoher Extremwert bei der Kalibrierung nach jeder 5. Messung erkennbar. Das VES präsentierte für jede Kalibrierungssequenz deutlich höhere Median-, obere und untere Perzentil-Werte (8,1–11,5) als das QS (2,14–2,67). Alle 3 Boxen unterschieden sich nicht wesentlich.

Im Vergleich zum QS (0,1–0,6) gab es eine größere Streuung der Werte beim VES (1,2–1,4).

Bezüglich der Reliabilität zeigten alle Werte (L^* , a^* , b^* , C^* , h^*) bei einem Benutzerwechsel verschiedene Ergebnisse. Sowohl für das QS als auch das VES waren die Daten der $L^*a^*b^*/C^*h^*$ -Werte in allen 3 Messungen sehr konstant. Es waren nur wenige Ausreißer zu verzeichnen. Einzelnen betrachtet konnte für das VES in allen Werten (L^* , a^* , b^* , C^* , h^*), für das QS in den a^* -, b^* - und h^* -Werten kein signifikanter Unterschied festgestellt werden (Friedman-Test; $p > 0,01$). Als Beispiel zeigt die Abbildung 4 die Box-Plots der L^* -Werte beider Geräte für die 1., 2. und 3. Messung.

Diskussion

Ziel dieser Studie war es, die Reproduzierbarkeit, Reliabilität und Interrater-Reliabilität der Spektrophotometer QuattroShade (QS) und VITA Easyshade (VES) zu analysieren und zu vergleichen. Hierfür wurden 3 verschiedene Versuchsaufbauten herangezogen. Es wurde jeweils die Zahnfarbe von 2 extrahierten humanen Zähnen mit beiden Farbmessgeräten gemessen. Die Häufigkeit der Kalibrierung sowie der Effekt von Benutzerwechseln als Variablen wurde berücksichtigt.

Die Ergebnisse der aktuellen Studie erlaubten es, die erste Nullhypothese abzulehnen. Sie lautete: Unab-

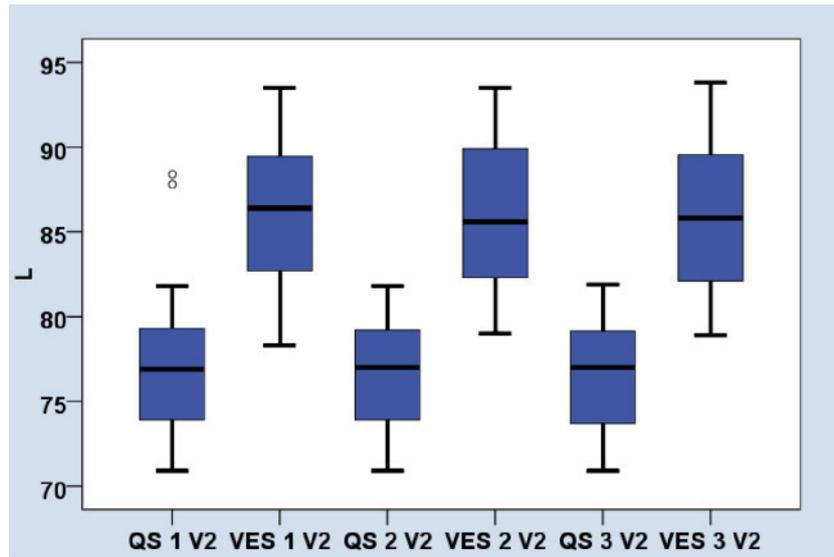


Abbildung 4 Reliabilität, L-Wert, QS und VES, 1.–3. Messung

hängig von Anwenderzahl und Kalibrierungssequenz produziert jedes Gerät bei gleichbleibendem Input gleichbleibende (reproduzierbare) und reliable Farbmessergebnisse. Die erhobenen Werte ergaben für die einzelnen Geräte wie auch zwischen ihnen statistisch signifikante Unterschiede ($p < 0,05$). VES zeigte in mehreren Parametern eine geringere Streuung der Werte und somit eine bessere Reproduzierbarkeit als das QS.

Auch die in der Studie aufgestellte 2. Nullhypothese, dass die ΔE -Werte beider Geräte keinen signifikanten Unterschied ($p > 0,05$) zeigen, wurde für die Geräte abgelehnt. Für Abweichungen der Werte sprach eine gewisse Ungenauigkeit innerhalb jeder Messeinrichtung.

Bezüglich der Reliabilität wurde die 3. aufgestellte Nullhypothese abgelehnt. Diese besagt, dass sich die $L^*a^*b^*/C^*h^*$ -Werte aus Dreifachmessungen mit beiden Geräten nicht signifikant ($p > 0,05$) unterscheiden. Alle Werte (L^* , a^* , b^* , C^* , h^*) zeigten bei einem Benutzerwechsel unterschiedliche Ergebnisse. Einzeln betrachtet konnte für das VES in allen Werten (L^* , a^* , b^* , C^* , h^*), für das QS in den a^* -, b^* - und h^* -Werten die Nullhypothese beibehalten werden ($p > 0,05$).

Beide Geräte wiesen im Vergleich miteinander signifikante Unterschiede in der Farbmessung auf, unabhängig davon, ob sie von einem oder mehre-

ren Benutzern verwendet wurden. Das VES zeigte in mehreren Parametern eine geringere Streuung der Werte und somit eine bessere Reproduzierbarkeit als das QS. Beide Geräte wiesen ihre beste Reproduzierbarkeit bei Kalibrierung nach 10 Messungen auf. Jedoch wichen die Ergebnisse nach verschiedenen Kalibrierungssequenzen nur sehr gering voneinander ab. Ein Einfluss der Kalibrierung spielte aus diesem Grund keine signifikante Rolle, wie schon Olms et al. [33] für das VES bestätigten. Auch in Bezug auf einen Benutzerwechsel zeigten beide Messgeräte sehr gute Ergebnisse für die Reliabilität. Das QS präsentierte dennoch eine geringere Streuung der Daten und somit leicht bessere Werte als das VES.

Es sind vor allem die Spektrophotometer, welche bei der instrumentellen Zahnfarbanalyse die präzisesten und fehlerfreisten Ergebnisse erzeugen können [6]. Das VES 4.0 gilt als ein häufig evaluiertes Spektrophotometer, welches sich in klinischen Studien als Referenzstandard zur digitalen Zahnfarbbestimmung entwickelt hat [32, 37, 45]. Die 5. Generation des digitalen Farbbestimmungsgeräts VES V existiert seit 2015 [43] und war zum Zeitpunkt der Versuchsdurchführungen noch nicht verfügbar. Bislang fehlen weiterführende Studien zum VES V. Für das QS existieren bislang noch keine Untersuchungen für die wissenschaftliche Dokumentation

hinsichtlich seiner Reproduzierbarkeit und Zuverlässigkeit. Auch ein Vergleich zwischen den beiden Spektrophotometer VES 4.0 und QS ist in der aktuellen Fachliteratur nicht verfügbar. Da bei mehreren Testpersonen eine Kontrolle der unterschiedlichen Zahnfarben, differierender Oberflächenmorphologie, Konvexität wie auch Opazität aller Zähne sehr schwierig gewesen wäre, wurde die vorliegende Studie nicht in vivo durchgeführt. Des Weiteren sprach die hohe Anzahl an Messungen (1056 je Messgerät) wie auch ein besser kontrollierbarer Überblick bei den einzelnen Messwiederholungen für eine In-vitro-Studie. Dennoch wurde bei allen Versuchsdurchführungen auf möglichst praxisnahe Bedingungen Wert gelegt. Auch wenn die zeitintensive Herstellung einer individuellen Positionierungsschiene in der Praxis als nicht alltagstauglich auszusehen ist und den klinischen Bedingungen nicht entspricht, wurde in der vorliegenden Studie eine Justierungsschablone verwendet. Der Messkopf des VES konnte somit bei jeder Messung an identischer Stelle des Zahns positioniert werden. Olms et al. [33] und Leibrock et al. [30] bestätigten eine verbesserte Reproduzierbarkeit der Messwerte aufgrund einer Positionierungshilfe. Eine weitere Studie von Blum et al. [5] fand heraus, dass für die reine Farbmessung (VITA 3 D-Master) eine Positionierungsschiene das Farbergebnis nicht maßgeblich beeinflusst. Für einen Vergleich der $L^*a^*b^*$ -Werte sollte jedoch mit einer Positionierungsschiene gearbeitet werden. Das QS maß die gesamte Oberfläche eines Zahns ohne Verwendung einer Positionierungsschiene.

Nach Herstellerangaben soll eine Kalibrierung des VES nach Anschalten des Geräts und nach Wechsel der Infektionsschutzfolie erfolgen. Die Messspitze muss bündig an der Zahnfläche anliegen [43]. Das QS muss nach dem Starten wie auch nach jeder Farbbestimmung kalibriert werden. Für die korrekte Positionierung am Zahn verfügt es über einen Winkelkontrollmodus [10].

In den meisten bisher existierenden Studien zum VES [9, 14, 22, 26, 46] fehlen Informationen zu Kalibrie-

zungshäufigkeiten. Lediglich Olms et al. [33] berichteten von unterschiedlichen Kalibrierungssequenzen nach 5 und 20 Messungen für das VES. Diesbezüglich wurde im Zusammenhang der vorliegenden Studie u.a. der Einfluss der Kalibrierungssequenz auf die Reproduzierbarkeit der Messwerte untersucht.

Das VES kann als ein Spot-Messgerät kategorisiert werden, indem es eine kleine Fläche von ca. 3 mm² der gesamten Zahnoberfläche zur Evaluierung der Zahnfarbe nutzt. Eine publizierte Studie [20] zeigte, dass Daten, welche mit einem Spot-Messgerät erhoben werden, aufgrund der inhomogenen Zahnoberfläche, des erhöhten Potenzials der Zahndehydratation und von Fehlern der Bildfassung nicht vollkommen fehlerfrei sind. In anderen veröffentlichten Studien [9, 12, 22] konnten die Autoren zeigen, dass insbesondere Spot-Messgeräte exakt seien und zuverlässige Ergebnisse liefern. QS zerlegt und identifiziert die Zahnfarbe über die gesamte Zahnoberfläche („complete tooth measurement“) und ist in der Lage, eine topografische Farbkarte des Zahns zu erstellen. Des Weiteren sind Messgeräte wie das QS in der Lage, mit einer Messung die Durchschnittswerte der 3 Zahnareale zervikal, zentral und inzisal aufzuteilen. In weiteren publizierten Studien zur Reproduzierbarkeit bzw. Reliabilität von Spektrophotometern wurde der Zahn bei der Messung in seine Drittel aufgeteilt [7, 18, 44]. Da die einzelnen Zahndrittel jedoch keinen Einfluss auf die Ergebnisse haben [44], blieb in der vorliegenden Studie die Dreiteilung unberücksichtigt. Das QS ist ebenso fähig, das reflektierte Spektrum der gesamten Oberfläche einzufangen. Mit der unterstützten Software können die spektralen Daten in Farbinformationen übersetzt und auch die Farbe sowie die L*a*b*/C*h*-Werte des gemessenen Zahns analysiert werden [17]. Auch die Daten dieser Complete-tooth-measurement-Geräte gelten wie die Spot-Messgeräte als zuverlässig und sind in der Lage, das Endergebnis zu verbessern [24, 39].

Baltzer und Kaufmann-Jinoian [1] fanden in ihrer Studie heraus, dass Zähne der Helligkeitsstufen 1 und 5

äußerst selten sind und sich etwa 50 % aller natürlichen Zähne in der mittleren Helligkeitsstufe 3 befinden. Die aktuelle Studie verwendete mit der VITA-3D-Master-Farbskala vordefinierte Zähne. Mit 2M3 für Zahn 21 und 1M2 für Zahn 12 befanden sich die zu messenden Objekte somit in der Helligkeitsstufe 1 bzw. 2.

Sowohl das VES als auch das QS präsentierten differente Farbverteilungen. Auch Dozic et al. [9], die 5 vordefinierte Musterzähne mit 5 unterschiedlichen Farbmessgeräten gemessen hatten, kamen zu differenten Farbverteilungen zwischen den Geräten. Diese gerätespezifischen Farbtonschwerpunkte lassen sich in ihrer Verteilung möglicherweise durch Schwankungen bei den einzelnen Farbmusterzähnen erklären. Auch an unterschiedliche Farbrechnungsalgorithmen der einzelnen Geräte sollte gedacht werden. Möglicherweise definieren die Geräte die Grenze der Entscheidung für die ein oder andere Farbe anders und unterscheiden sich auch in ihrer Gewichtung der Parameter Farbton, Helligkeit und Sättigung. Als weitere Fehlerquelle kommt eine ungeeignete Zahnfarbe der extrahierten Zähne in Betracht, welche im Farbraum genau zwischen den Farben der Farbmusterzähne lagen und somit die eindeutige Zuordnung zu einem Farbton erschwerten [44].

Obwohl die L*a*b*-Werte absolut und standardisiert sind, sind sie zwischen 2 unterschiedlichen Messgeräten nicht austauschbar [19, 28, 29, 40]. Auch die vorliegende experimentelle Studie schließt sich dieser Meinung an. Ein potenzieller Grund für die abweichenden Ergebnisse kann sich aus einer möglichen Variabilität der verwendeten Messgeräte ergeben. Schon Kim-Pusateri et al. [22] berichteten von Abweichungen innerhalb der Farbmessgeräte und bei Geräten des gleichen Herstellers. Das VES zeigte in mehreren Parametern eine bessere Reproduzierbarkeit als das QS. Einige Publikationen [9, 26, 46] bestätigten eine exzellente Reproduzierbarkeit des VES. Beide Geräte wiesen ihre beste Reproduzierbarkeit bei Kalibrierung nach 10 Messungen auf, was die Ergebnisse von Olms et al. [33] nicht bestätigten. Hier zeigte sich eine ge-

ringere Standardabweichung bei häufiger Kalibrierung als bei seltener Kalibrierung. Ein Einfluss der Kalibrierung spielt jedoch nur eine untergeordnete Rolle, wie schon Olms et al. [33] für das VES bestätigten.

Des Weiteren wurde der Einfluss des Benutzerwechsels bei der Farbmessung ermittelt. Es konnte gezeigt werden, dass beide Messgeräte sehr gute, jedoch unterschiedliche Ergebnisse für die Reliabilität präsentieren. Alle Werte (L*, a*, b*/C*, h*) zeigten bei Messung desselben Zahns unterschiedliche Ergebnisse, sowohl für jedes einzelne Gerät als auch in einem Gerätevergleich. Auch die klinischen Beobachtungen von Kim-Pusateri et al. [22], die 4 unterschiedliche Farbmessgeräte, u.a. das VES, auf deren Reliabilität untersuchten und verglichen, decken sich mit dieser Feststellung. Das QS präsentierte dennoch eine geringere Streuung der L*a*b*/C*h*-Daten, was die Ergebnisse von Schmitter et al. [41] bestätigten. Die Autorengruppe beschrieb die Reliabilität des Vorläufermodells ShadePilot als „akzeptabel bis exzellent“.

Der ΔE -Wert wird oft verwendet, um den Unterschied zwischen 2 gemessenen Farben auszudrücken. Das Spektrum der noch wahrnehmbaren ΔE -Werte beginnt bei einem exzellent trainierten Auge unter Laborverhältnissen bei 0,4 [11] und reicht bis hin zu einem Mittelwert von 3,7 [16]. Paravina et al. [38] hingegen ermittelten in ihrer Studie ΔE -Werte von 1,2 bis hin zu 2,7. Da alle ΔE -Werte der vorliegenden Studie sich jedoch zwischen 0,1 und 2,2 bewegten, waren diese Unterschiede nach den oben genannten Studien kaum wahrnehmbar und somit als klinisch irrelevant anzusehen.

Grundsätzlich kann die Frage nach einer objektiven Referenz bzw. Kontrollgruppe gestellt werden, um zu sehen, wo hier die „wahren Werte“ der Zahnfarben liegen. Da jedoch in dieser Studie keine Unterscheidung getroffen wurde, ob die Geräte die Farbe des Zahns korrekt identifizieren, wurde keine Kontrollgruppe herangezogen. Das gemessene Ergebnis bezieht sich lediglich auf die Beständigkeit der Farbgeräte. Ein Gerät, welches zuverlässigere Messungen

produziert, wird voraussichtlich vorhersehbarer funktionieren als ein unbeständiges Gerät. Dennoch sind klinische Tests notwendig, um diese Feststellung zu bekräftigen und die Bedeutung der Unterschiede zu bestimmen.

Wenn auch dieser In-vitro-Ver-such die Situation am Patienten nur bedingt simulieren konnte, legen die Ergebnisse den Schluss nahe, dass beide Farbbestimmungsgeräte sowohl in ihrer Reproduzierbarkeit als auch Reliabilität sehr gute bis ausgezeichnete Ergebnisse präsentieren. Dennoch ist es den Herstellern bis heute noch nicht gelungen, alle Ungenauigkeiten der Geräte zu beseitigen. Eine visuelle Kontrolle der Farbwahl sollte für beide Geräte stets erfolgen.

Schlussfolgerung

Die vorliegende Studie evaluierte die Güte der Farbbestimmung der dentalen Farbmessgeräte VITA Easyshade und QuattroShade.

Wie die Ergebnisse zu Reproduzierbarkeit und Reliabilität verdeutlichen, präsentierten sich beide Geräte als zuverlässig und präzise. Jedoch waren intern wie auch in einem Gerätevergleich signifikante Unterschiede in der Farbmessung erkennbar, unabhängig davon, ob sie von einem oder mehreren Benutzern verwendet wurden. Hingegen befanden sich diese Differenzen in einem Bereich, welcher als klinisch irrelevant angesehen werden kann, was wiederum für die praktische Verwendbarkeit der Geräte spricht. Um mögliche Fehler zu vermeiden, sollte dennoch eine Kontrolle der erhobenen Farbwerte im klinischen Alltag visuell mithilfe einer konventionellen Farbskala erfolgen.

Danksagung

Ein Dank gilt den Firmen VITA Zahnfabrik (Bad Säckingen) und Goldquadrat GmbH (Hannover), welche freundlicherweise die Messgeräte für die Studie zur Verfügung stellten.

Interessenkonflikte:

Die Autoren erklären, dass kein Interessenkonflikt im Sinne der Richtlinien des International Committee of Medical Journal Editors besteht.

Literatur

1. Baltzer A, Kaufmann-Jinoian V: Die Bestimmung der Zahnfarbe. *Quintessenz* 2004; 30: 726–740
2. Baltzer A, Kaufmann-Jinoian V: Shading of ceramic crowns using digital tooth shade matching devices. *Int J Comput Dent* 2005; 8: 129–152
3. Baltzer A: Physikalisches Farbsystem und menschlicher Farbeindruck. *Digital Dental News* 2007; 14–19
4. Barna GJ, Taylor JW, King GE, Pelleu GB: The influence of selected light intensities on color perception within the color range of natural teeth. *J Prosthet Dent* 1981; 46: 450–453
5. Blum SL, Horn M, Olms C: A comparison of intraoral spectrophotometers – are there user-specific differences? *J Esthet Restor Dent* 2018; 30: 442–448
6. Chang JY, Chen WC, Huang TK et al.: Evaluating the accuracy of tooth color measurement by combining the Munsell color system and dental colorimeter. *Kaohsiung J Med Sci* 2012; 28: 490–494
7. Chen L, Tan JG, Zhou JF, Yang X, Du Y, Wang FP: Reliability and accuracy of Crystaleye spectrophotometric system. *Chi J Dent Res* 2010; 13: 139–145
8. Chu SJ: Precision shade technology: contemporary strategies in shade selection. *Pract Proced Aesthet Dent* 2002; 14: 79
9. Dozic A, Kleverlaan CJ, El-Zohairy A, Feilzer AJ, Khashayar G: Performance of five commercially available tooth color-measuring devices. *J Prosthodont* 2007; 16: 93–100
10. Goldquadrat, Hannover (o. J.) online verfügbar unter www.goldquadrat.de/produkte/geraete/quattro-shade/ (letzter Zugriff am 05.08.2017)
11. Goldstein GR, Schmitt GW: Repeatability of a specially designed intraoral colorimeter. *J Prosthet Dent* 1993; 69: 616–619
12. Hasegawa A, Ikeda I, Kawaguchi S: Color and translucency of in vivo natural central incisors. *J Prosthet Dent* 2000; 83: 418–423
13. Hassel AJ, Grossmann AC, Schmitter M, Balke Z, Buzello AM: Interexaminer reliability in clinical measurement of L*a*b* values of anterior teeth using a spectrophotometer. *Int J Prosthodont* 2007; 20: 79–84
14. Hassel AJ, Doz P, Nitschke I, Rammelsberg P: Comparing L*a*b* color coordinates for natural teeth shades and corresponding shade tabs using a spectrophotometer. *Int J Prosthodont* 2009; 22: 72–74
15. Hassel AJ, Cevirgen E, Balke Z, Rammelsberg P: Intraexaminer reliability of measurement of tooth color by spectrophotometry. *Quintessence* 2009; 40: 421–426
16. Johnston WM, Kao EC: Assessment of appearance match by visual observation and clinical colorimetry. *J Dent Res* 1989; 68: 819–822
17. Joiner A: Tooth colour: a review of the literature. *J Dent* 2004; 32: 3–12
18. Karamouzos A, Papadopoulos MA, Kolokithas G, Athanasiou AE: Precision of in vivo spectrophotometric colour evaluation of natural teeth. *J Oral Rehabil* 2007; 34: 613–621
19. Khashayar G, Dozic A, Kleverlaan CJ, Feilzer AJ: Data comparison between two dental spectrophotometers. *Oper Dent* 2012; 37: 12–20
20. Khurana R, Tredwin CJ, Weisbloom M, Moles DR: A clinical evaluation of the individual repeatability of three commercially available colour measuring devices. *Br Dent J* 2007; 203: 675–680
21. Khashayar G, Bain PA, Salari S, Dozic A, Kleverlaan CJ, Feilzer AJ: Perceptibility and acceptability thresholds for colour differences in dentistry. *J Dent* 2014; 42: 637–644
22. Kim-Pusateri S, Brewer JD, Davis EL, Wee AG: Reliability and accuracy of four dental shade-matching devices. *J Prosthet Dent* 2009; 101: 193–199
23. King K, deRijk WG: Variations of L*a*b* values among Vitapan Classical Shade Guides. *J Prosthodont* 2007; 16: 352–356
24. Kourtis S: Die Verwendung von Easyshade und Spectroshade. Bewertung elektronischer Geräte zur Bestimmung der Zahnfarbe. *Teamwork* 2009; 12: 232
25. Kunzelmann KH: Über Farbe streiten? Prof. Dr. Karl-Heinz Kunzelmann stellt digitale Farbbestimmungssysteme auf den Prüfstand. *Dental Magazin* 2004; 22: 96
26. Lagouvardos PE, Fougia AG, Diamantopoulou SA, Polyzois GL: Repeatability and interdevice reliability of two portable color selection devices in matching and measuring tooth color. *J Prosthet Dent* 2009; 101: 40–45
27. Lee YK, Yu BL, Lee SH, Cho MS, Lee CY, Lim HN: Variation in instrument-based color coordinates of esthetic restorative materials by measurement method-A review. *Dent Mater* 2010; 26: 1098–1105
28. Lehmann KM, Devigus A, Igiel C, Wentaschek S, Azar MS, Scheller H: Repeatability of color-measuring devices. *Eur J Esthet Dent* 2011; 6: 428–435
29. Lehmann KM, Devigus A, Igiel C et al.: Are dental color measuring devices

- CIE compliant? *Eur J Esthet Dent* 2012; 7: 324–333
30. Leibrock A, Rosentritt M, Guray N, Handel G: Einflüsse unterschiedlicher Messparameter auf die metrische Farbbestimmung mit dem Spektralfarbmessgerät Castor. *Dtsch Zahnärztl Z* 1995; 50: 664–667
31. Mayekar SM: Shades of a color. Illusion or reality? *Dent Clin North Am* 2001; 45: 155
32. Meireles SS, Demarco FF, dos Santos I, Dumith S, Della Bona A: Validation and reliability of visual assessment with a shade guide for tooth-color classification. *Oper Dent* 2008; 33: 121–126
33. Olms C, Arnold CH, Setz M: Einflüsse von Umgebungsparameter auf die Reproduzierbarkeit intraoraler Farbmessung mit dem Spektrophotometer Vita Easyshade. *Dtsch Zahnärztl Z* 2009; 64: 54–60
34. Olms C; Setz JM: The repeatability of digital shade measurement – a clinical study. *Clin Oral Investig* 2013; 17: 1161–1166
35. Olms C, Haak R, Jakstat HA: Development and implementation of the Clinical Tooth Shade Differentiation Course – an evaluation over 3 years. *GMS J Med Educ* 2016; 33: Doc2. DOI: 10.3205/zma001001
36. Paravina RD, Powers JM: Esthetic color training in dentistry. Elsevier, St. Louis 2004, 17–28, 169–170
37. Paravina RD, Majkic G, Stalker JR, Kiat-Amnuay S, Chen JW: Development of a model shade guide for primary teeth. *Eur Arch Paediatr Dent* 2008; 9: 74–78
38. Paravina RD, Ghinea R, Herrera LJ, Bona AD, Igiel C, Linninger M: Color difference thresholds in dentistry. *J Esthet Restor Dent* 2015; 27 (Suppl 1): 1–9
39. Paul SJ, Peter A, Rodoni L, Pietrobon N: Conventional visual vs spectrophotometric shade taking for porcelain-fused-to-metal crowns: a clinical comparison. *Int J Periodontics Restorative Dent* 2004; 24: 222–231
40. Sarafianou A, Kamposiora P, Papavasiliou G, Goula H: Matching repeatability and interdevice agreement of 2 intraoral spectrophotometers. *J Prosthet Dent* 2012; 107: 178–185
41. Schmitter M, Mussotter K, Hassel AJ: Interexaminer reliability in the clinical measurement of L*a*b* values using a laminar spectrophotometer. *Int J Prosthodont* 2008; 21: 422–424
42. Sproull RC: Color matching in dentistry. 3. Color control. *J Prosthet Dent* 1974; 31: 146–154
43. Vita Zahnfabrik 2015 Hg. v. VITA Easyshade-Technologie Bad Säckingen. Online verfügbar unter <http://www.vita-zahnfabrik.com> (letzter Zugriff am 16.05.2018)
44. Witzel T: Klinische Untersuchung computergeschützter Zahnfarbbestimmung im Vergleich zu visueller Abmusterung durch das menschliche Auge. Universität Würzburg, 2004
45. Yuan JC, Brewer JD, Monaco EA, Davis Elaine L: Defining a natural tooth color space based on a 3-dimensional shade system. *J Prosthet Dent* 2007; 98: 110–119
46. Zenthofer A, Cabrera T, Corcodel N, Rammelsberg P, Hassel AJ: Comparison of the Easyshade Compact and Advance in vitro and in vivo. *Clin Oral Investigations* 2014; 18: 1473–1479



(Foto: I. Riemer)

PD DR. MED. DENT. HABIL.
CONSTANZE OLMS, MME
 Spezialistin für Prothetik, Oberärztin
 Universität Leipzig
 Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik
 und Werkstoffkunde
 Liebigstr. 12, Haus 1, 04103 Leipzig
 Constanze.olms@medizin.uni-leipzig.de