

Die Autoren stellen in einer Serie von Beiträgen die aktuelle, bislang unveröffentlichte Studie „Zur Genauigkeit und Konstanz digitaler Farbmessung. Spektrofotometrische und visuelle Zahnfarbbeurteilung im Vergleich“ vor. Die Serie beginnt mit der Vermittlung von theoretischen Background-Informationen wie beispielsweise Erläuterungen zum Farbsystem, Definitionen und Funktionsweisen der spektrofotometrischen Farbmessung, um schließlich ausführlich Ziele, Methodik und Ergebnisse der Studie darzustellen.

Ausgabe Oktober 2007 – Teil 1: Farbsystem L^*a^*b / L^*C^*h , Zahnfarbraum, ΔE -Wert, visuelle Bestimmung von Zahnfarben.

Ausgabe November 2007 – Teil 2: Spektrofotometrische Farbmessung, Remission, Lichtleitersystem.

Ausgabe Dezember 2007 – Teil 3: Farbdistanzen, Eckdaten der Studie, Methodik Grundfarben-Analyse, Methodik Effekt-Analyse.

Ausgabe Januar / Februar 2008 – Teil 4: Messgenauigkeit und -konstanz, Ergebnisdifferenzen visuell versus digital, Abschlussvergleich Referenzzahn – Rekonstruktion.

Was ist besser? Farbnahme mit oder ohne Spektrofotometer?

Dr. Andres Baltzer, ZTLM Vanik Kaufmann–Jinoian (Teil 4)

Hauptziel der Studie „Zur Genauigkeit und Konstanz digitaler Farbmessung. Spektrofotometrische und visuelle Zahnfarbbeurteilung im Vergleich“ ist die Beantwortung der Frage, ob ein Farbmessgerät eine nützliche Hilfe für den Praktiker darstellt. Die digitale Messung der Zahnfarbe soll die Empfindung des menschlichen Auges begleiten und Hinweise dazu liefern, wo Unsicherheiten bestehen. Die visuelle Farberkennung ist gekennzeichnet durch physiologische und auch psychologische Prozesse (subjektive Farbbestimmung), während die Farbmessung sich als technischer Vorgang mit metrischen Koordinatenangaben zum Farbpunkt im physikalischen Raum sichtbarer Farben darstellt (objektive Farbbestimmung). Beide Wege sollten im Idealfall zum gleichen Ergebnis führen, wobei das Ergebnis der Farbmessung dem Durchschnitt der Ergebnisse durch Menschen entsprechen sollte.

Im Praxisalltag tritt der Idealfall übereinstimmender Ergebnisse von Mensch und Gerät in der Regel nicht ein. Dann offenbart ein Spektrofotometer dem Anwender, wie groß die Distanz zwischen seinem individuellen Farbeindruck und dem Durchschnittswert vieler, normalsichtiger Menschen ist. Das Farbmessgerät zeigt dem Individuum, wie die Mehrheit seiner Mitmenschen eine Farbe sieht.

Stimmungsbarometer

Vor Beginn der Studie war den meisten Studienteilnehmern das Farbmessgerät VITA Easyshade (VITA Zahnfabrik, D-Bad Säckingen) nicht vertraut. Bei Abschluss der Studie gaben circa 50 % der Stu-

dienteilnehmer an, die Farbmessung mit Unterstützung des Geräts der rein visuellen Farbeinschätzung vorzuziehen. Hinsichtlich des Vertrauens in die Messgenauigkeit gab die große Mehrheit der Studienteilnehmer an, dass verschiedene Geräte an demselben Zahn den gleichen Farbcode ausweisen, und etwa die Hälfte ist der Meinung, dass die Zahnform keinen Einfluss auf das Messresultat beziehungsweise die Messkonstanz hat. Jene, die eine Beeinflussung durch die Zahnform vermuten, gaben mehrheitlich an, dass ihrer Ansicht nach diesbezüglich die Zahnbreite eine größere Rolle spiele als die Zahnwölbung. Fast alle Studienteilnehmer bestätigten die Notwendigkeit einer gezielten Einführungsschulung, wie sie im Vorfeld der Studiendurchführung erfolgt war, um das erforderliche Grundwissen zu vermitteln. Behandelt wurden folgende Themen: Das Farbsystem VITA SYSTEM 3D-MASTER, visuelle Farbeinschätzung mithilfe der Farbskala VITA Toothguide 3D-MASTER, digitale Farbmessung mit dem Spektrofotometer VITA Easyshade sowie – hinsichtlich der Reproduzierbarkeit der Ergebnisse – das Verblendkonzept der VITA VM Verblendmaterialien. Die Resultate von Befragungen dieser Art dürfen nicht überbewertet werden, bieten aber eine Art Stimmungsbarometer, dessen Vergleich für die objektiv hinterlegte Auswertung des erfassten Datenmaterials interessant sein kann.

Messgenauigkeit und -konstanz

Jedes Messgerät weist eine gewisse Unschärfe bei den Messresultaten aus. Die Kenntnis um deren Größenordnung ist unverzichtbar, um die Relevanz beziehungsweise die statistische Aussagekraft der erhobenen Messergebnisse beurteilen zu können. Es würde z. B. keinen Sinn machen, bei zwei Messreihen von einem signifikanten Unterschied zu reden, wenn die Differenz innerhalb der systemisch zu erwartenden Streuung der Messresultate des Gerätes liegt.

Die Erfahrung zeigt, dass diese Streuung bei genormten Messbedingungen im Laborversuch kleiner ausfällt als am Patientenzahn in situ.

Im Labor wurden an einem Keramikplättchen 20 Farbmessungen mit einem VITA Easyshade Gerät durchgeführt. Die Abweichungen der Messresultate mit dem Farbabweichungswert ΔE wurden verglichen und grafisch dargestellt (Abb. 1). Es zeigt sich, dass unter genormten Laborbedingungen die Unterschiede zwischen den Messresultaten sehr gering ausfallen. Sie liegen größtenteils unter dem ΔE -Wert = 1.0, was als sehr gute Messkonstanz zu bewerten ist. Die Überprüfung der Messkonstanz in situ ergibt größere Abweichungen. Bei drei Messungen mit demselben Gerät an demselben Zahn vermittelt die Auswertung der in der Studie gesammelten Daten das folgende Bild: Im Vergleich zum Mittelwert aller getätigten Messungen zeigen die erhobenen ΔL -Werte in 50 % der Fälle eine Streuung von ± 1.0 . Die Streuung der ΔC -Werte liegt bei ± 0.6 und der ΔH -Werte bei ± 0.4 (Abb. 2). Statistisch erweist sich mit der Streuung der Δ -Werte von etwa ± 1.0 eine gute Messkonstanz beziehungsweise Reproduzierbarkeit der Farbmessung an demselben Objekt. Es traten aber „Ausreißer“ mit erheblichem Ausmaß auf. Verschiedene Ursachen kommen hierfür infrage: Fehlerhaftes Vorgehen beim Messvorgang, keine Übereinstimmung des Messfeldes, erhöhte Fehlerquote im Zusammenhang mit der Zahnform. Die ersten beiden Punkte können auf

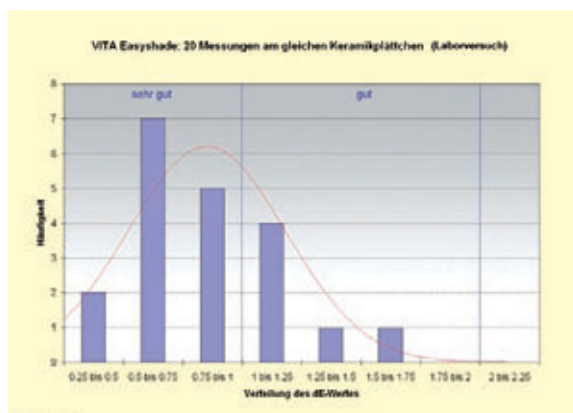


Abb. 1: Bei 20 Farbmessungen an einem Keramikplättchen differieren die einzelnen Messresultate nur geringfügig. Bei 14 Messungen ergibt sich eine sehr gute Resultatübereinstimmung mit einem ΔE -Wert < 1.0. Messunterschiede mit ΔE -Wert > 1.8 wurden nicht festgestellt.

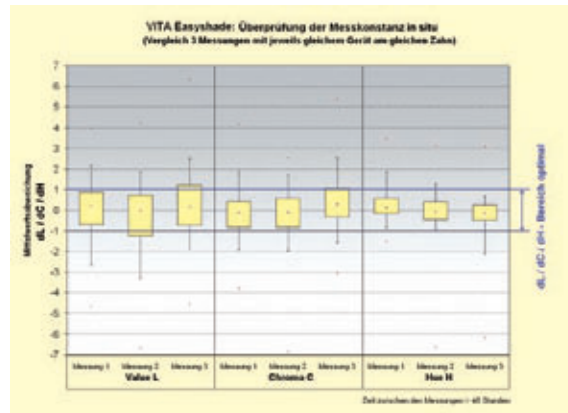


Abb. 2: Statistisch erweist sich mit der Streuung der Δ -Werte von ± 1.0 eine gute Messkonstanz. Die Auswertung umfasst alle Zahnformen.

eine nicht so einfache Handhabung des Farbmessgerätes hindeuten. Hinsichtlich einer erhöhten Fehlerquote aufgrund der Zahnform lässt sich feststellen: Bei Mehrfachmessung an einem flachen / breiten Referenzzahn liegen die Messresultate nahe beieinander in der Bewertungsgruppe Sehr gut bis Gut. Bei einem schmalen / gewölbten Referenzzahn nehmen die Unterschiede der Messresultate zu (Abb. 3).

Mit acht Messgeräten wurde jeweils die Farbe von acht verschiedenen Referenzzähnen gemessen. In Abbildung 4 werden die ΔL -, ΔC - und ΔH -Abweichungen der Geräte untereinander verglichen. Dabei wurden die Mittelwerte aller getätigten Messungen auf 0 gesetzt und mit den davon abweichenden Werten der

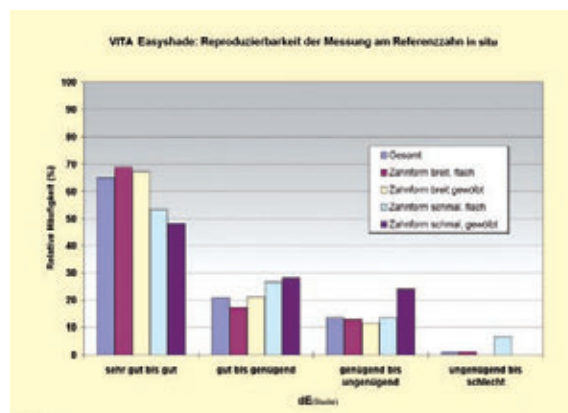


Abb. 3: Die Qualität der Reproduzierbarkeit von Farbmessresultaten steht im Zusammenhang mit der Form des Referenzzahnes. Bei flachen und breiten Zähnen liegt sie in 70 % der Fälle im Bereich Sehr gut bis Gut, bei schmalen und gewölbten Zähnen in 50 % der Fälle im Bereich Gut bis Ungenügend.

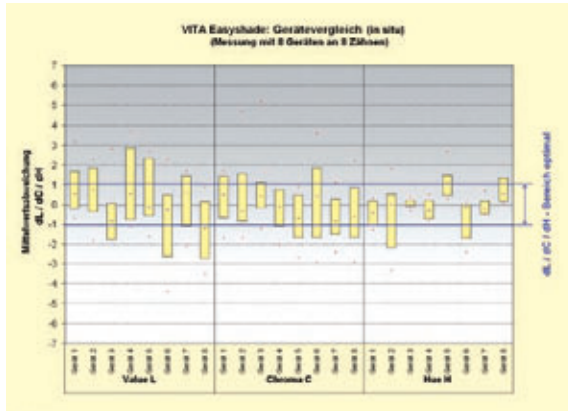


Abb. 4: Vergleich der Messgenauigkeit verschiedener Messgeräte untereinander: Mit acht Geräten werden die LCH-Werte eines Referenzzahnes als Abweichung vom Mittelwert der getätigten Messungen dargestellt. Lesebeispiel: Der Unterschied der Helligkeitsmessung des Gerätes 1 und 3 liegt bei $\approx \Delta L$ 1.0. Das Gerät 3 misst am gleichen Objekt weniger Helligkeit als das Gerät 1.

einzelnen Geräte verglichen. Es zeigt sich, dass die Messresultate der verschiedenen Geräte an demselben Zahn durchschnittlich mit Δ -Werten ± 0.5 auseinander liegen, was eine allgemein gute Übereinstimmung bestätigt. Es sind aber auch vereinzelt Messwertunterschiede mit Δ -Werten ± 1 feststellbar. Diese liegen in einem Bereich, in dem das menschliche Auge beginnt, Unterschiede wahrzunehmen. Beim Einsatz von verschiedenen Geräten empfiehlt es sich deshalb, deren Messübereinstimmung abzuklären. Ergibt sich z. B., dass das in der Zahnarztpraxis eingesetzte Gerät tendenziell etwas mehr Helligkeit angibt, als das Gerät im Labor, kann der Dentalkeramiker dies bei seiner Arbeit berücksichtigen. Ergeben sich keine wesentlichen Unterschiede in den Messdaten (Δ -Wert < 1), so sind die Geräte gegeneinander austauschbar (Abb. 5).

Unterschiedliche Ergebnisse

Erfolgt an demselben Zahn eine Farbbestimmung sowohl visuell als auch digital, so liegen die Resultate meist etwas auseinander. Dabei stellt sich die Frage, in welchen Größenordnungen ($\Delta E_{\text{(Studie)}}$) sich die Unterschiede bewegen. Liegen sie mehrheitlich im Bereich Sehr gut bis Gut, so erübrigt sich im Grunde genommen der Einsatz des digitalen Farbmessgerätes. Je größer allerdings die Unterschiede der visuell und digital erkannten Farben ausfallen, desto spannender ist die Antwort auf die Frage, welche Farbbestimmungsmethode mehr Vertrauen verdient.

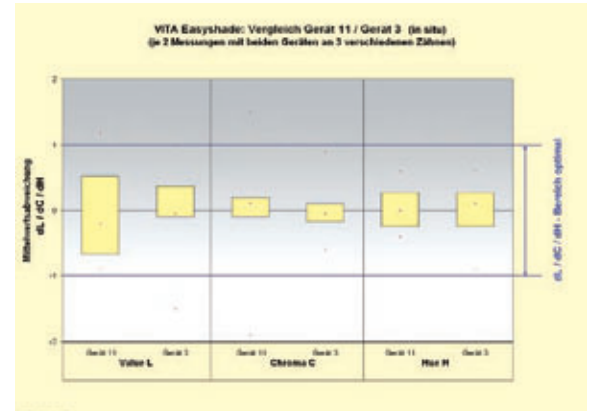


Abb. 5: Die Abklärung der Übereinstimmung zwischen den Messdaten von Test-Gerät 11 und 3 ergab gleiche L*C*h-Werte (Δ -Werte < 0.3).

Beim visuellen Farbgleich zwischen einem natürlichen Zahn und einem Farbmuster eines Farbschlüssels stehen zwei Einflusskategorien zur Diskussion: externe Einflüsse (vom Umgebungslicht bis zur individuellen Sehschwäche), objektspezifische Einflüsse (von der Zahnform bis zur Struktur der Analysefläche). Bei der digitalen Farbmessung mit VITA Easyshade wird versucht, möglichst viele dieser Einflüsse „auszuschalten“. Dies ist allerdings nicht mit morphologischen Kriterien wie der Zahnbreite und der Zahnwölbung möglich. Es soll deshalb dargestellt werden, ob und gegebenenfalls in welchem Maße die Farberkennungsunterschiede zwischen Messgerät und Auge durch diese „Formkriterien“ beeinflusst werden. Die Formkriterien wurden wie folgt festgelegt:

Größe des Referenzzahnes	Breit	> 6 mm (*)
	Schmal	< 6 mm (*)
Oberfläche des Referenzzahnes	Flach	Messsonde plan aufliegend
	Gewölbt	Messsonde nicht plan aufliegend

(*) im Protokoll der Studie werden die Zahnbreiten mit < 6 mm, 6 mm bis 8 mm und > 6 mm erhoben. Die Auswertung ergibt lediglich relevante Unterschiede zwischen > 6 mm und < 6 mm.

Die Übereinstimmung beziehungsweise der Unterschied zwischen der visuell und digital erkannten Zahnfarbe wird folgendermaßen quantifiziert:

Abweichung $\Delta E_{\text{(Studie)}}$	Verbale Beschreibung der Qualität
0	Sehr gut
1	Gut
2	Genügend
3	Ungenügend
4	Schlecht

Die Häufigkeitsanalyse der festgestellten Unterschiede zwischen der visuell und digital erkannten Zahnfarbe am Referenzzahn, verteilt auf die diversen „Formkriterien“, wird in den Abbildungen 6 bis 8 dargestellt und nachfolgend beschrieben:

■ Bei der Beurteilung der Zahnform (flach beziehungsweise gewölbt) liegen die Kulminationspunkte der polynomischen Trendkurven (in der Abbildung 6 mit einem senkrechten Pfeil angezeigt) nahe beieinander im Gebiet Gut bis Ungenügend. Dies deutet auf einen geringen Einfluss des Parameters „Zahnform“ auf den Unterschied zwischen den Ergebnissen visueller und digitaler Farbbestimmung hin.

■ Bei der Beurteilung der Zahnbreite (> 6 mm beziehungsweise < 6 mm) liegen die Kulminationspunkte der polynomischen Trendkurven (in der Abbildung 7 mit einem senkrechten Pfeil angezeigt) etwas auseinander. Breite Zähne (> 6 mm) liegen im Bereich Gut bis Genügend. Schmale Zähne (< 6 mm) liegen zwischen Genügend und Ungenügend. Dies deutet auf einen größeren Einfluss des Parameters „Zahnbreite“ auf den Unterschied zwischen den Ergebnissen visueller und digitaler Farbbestimmung hin.

■ Bei der kombinierten Beurteilung der Zahnform / Zahnbreite – flach und breit gegenüber gewölbt und schmal – liegen die Kulminationspunkte der polynomischen Trendkurven (in der Abbildung 8 mit einem senkrechten Pfeil angezeigt) noch weiter auseinander. Flache breite Zähne liegen im Gebiet „Genügend“. Gewölbte schmale Zähne liegen im Gebiet Ungenügend bis Schlecht. Dies deutet darauf hin, dass die kombinierten Situationen „breit und flach“ beziehungsweise „schmal und gewölbt“ einen großen Einfluss auf den Unterschied zwischen den Ergebnissen visueller und digitaler Farbbestimmung ausüben.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die Farbbestimmungen mit visuellem und digitalem Farbgleich bei breiten und flachen Zähnen näher beieinander und im Bereich Genügend liegen, bei schmalen und gewölbten Zähnen weiter auseinander und im Bereich Ungenügend bis Schlecht. Gleichzeitig darf davon ausgegangen werden, dass die Farbbestimmung umso verlässlicher wird, je kleiner der

Unterschied zwischen den Ergebnissen der visuellen und der digitalen Farbbestimmung ausfällt. Bei größeren Unterschieden nimmt die Unsicherheit der

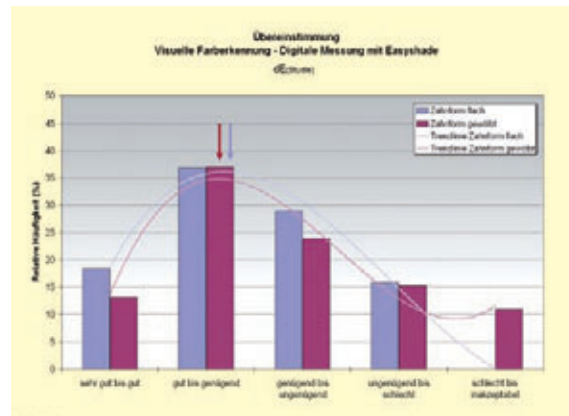


Abb. 6: Übereinstimmung zwischen den visuell und digital bestimmten Farben - Vergleich zwischen flacher und gewölbter Zahnform.

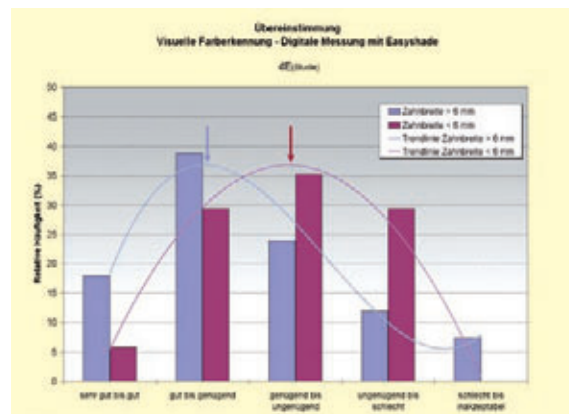


Abb. 7: Übereinstimmung zwischen den visuell und digital bestimmten Farben - Vergleich zwischen schmaler und breiter Zahnform.

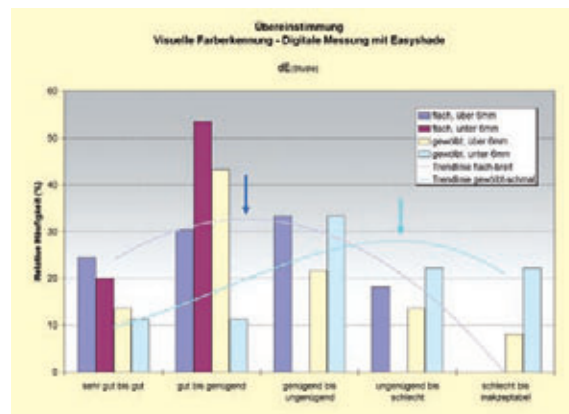


Abb. 8: Übereinstimmung zwischen den visuell und digital bestimmten Farben - Vergleich zwischen flacher / breiter und gewölbter / schmaler Zahnform.

Farberkennung entsprechend zu. Gerade in solchen Situationen hebt sich die Unterstützung eines Messgerätes für Zahnfarben als besonders wertvoll hervor – vorausgesetzt von dem Gerät darf, statistisch gesehen, eine größere Verlässlichkeit im Vergleich zum Auge erwartet werden. Trifft dies zu, so ist dem Praktiker mit der digitalen Farbmessung ein Hilfsmittel gegeben, dessen Ergebnis besonders dort beachtet werden sollte, wo der Unterschied zwischen der visuellen und digitalen Farbestimmung groß ausfällt.

Farbkompetenz

Ein objektiver Leistungsvergleich zwischen der visuellen Farbeinschätzung und der digitalen Farbmessung könnte nicht aufgestellt werden, wenn sich die Farbkompetenz der Teilnehmer im Studienverlauf ändern würde. Es konnte aber abgeklärt werden, dass sich die Werte nicht wesentlich verändert haben. Der Unterschied zwischen den visuell erkannten und digital gemessenen Zahnfarben bleibt konstant bei $\Delta E \approx 2$ und liegt somit im Bereich Genügend bis Ungenügend.

Kontrollmessung am „Rohbrand“

Bei einer Zwischeneinprobe des sogenannten „Rohbrandes“ sind der visuellen Beurteilung der Farbe Grenzen gesetzt. Die Oberflächenstruktur und die unfertige Formgestaltung beeinflussen das Auge wesentlich. Es stellt sich die Frage, ob eine Farbmessung bei der Zwischeneinprobe einer keramischen Rekonstruktion empfehlenswert ist. Im Rahmen der Studie wurde daher ein Prozedere für die Kronenherstellung festgelegt. Die statistische Auswertung aller dokumentierten Fälle zeigt, dass eine Kontrollmessung und eine den Korrekturanweisungen des Messgerätes entsprechende Endverarbeitung in einer deutlichen Qualitätsverbesserung resultieren (Abb. 9). Die Auswertung erfolgte nach dem Prinzip „Fertigstellung nach einer einzigen Einprobe“ und es zeigte sich, dass das Spektrofotometer eine wertvolle Unterstützung bietet. Bei kritischen Fällen mit hohen ästhetischen Anforderungen sind mittels mehrerer Einproben natürlich immer weitere Schritte zur naturnahen Ausgestaltung einer keramischen Restauration möglich.

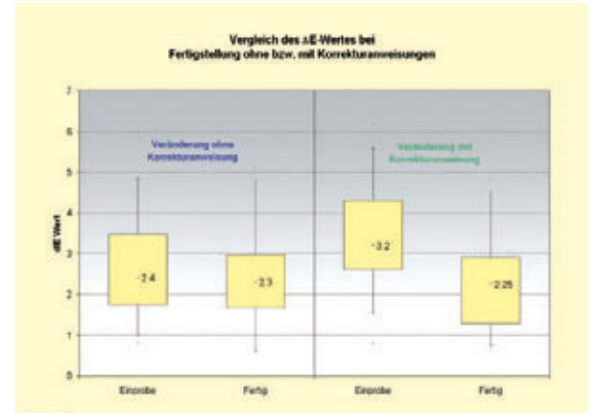


Abb. 9: Ergibt eine Kontrollmessung mit VITA Easyshade bei der Einprobe erhöhte ΔE -Werte, vermittelt das Gerät Korrekturanweisungen hinsichtlich Helligkeit, Farbintensität und Farbton. Es zeigt sich, dass bei Befolgung mit einer wesentlichen Verbesserung beziehungsweise einer Senkung des ΔE -Wertes in Bezug auf die gewählte Grundfarbe gerechnet werden darf.

Abschlussvergleich Referenzzahn – Rekonstruktion

Die statistische Auswertung des Abschlussvergleichs zwischen Referenzzahn und Rekonstruktion zeigt, dass in 61 % aller Fälle das Spektrofotometer besser als das menschliche Auge und in 28 % der Fälle ebenso gut analysiert hat. In fast 90 % aller Fälle analysiert das Farbmessgerät demnach gleich gut oder besser (rote Säulen in Abbildung 10). Bei schmalen und gewölbten Zähnen (grüne Säulen in Abbildung 10) analysiert das Gerät in 75 % der Fälle besser und in 12 % der Fälle ebenso gut wie das menschliche Auge. Dem Ergebnis der Farbmessung darf bei dieser Zahnform also deutlich mehr Vertrauen als dem persönlichen

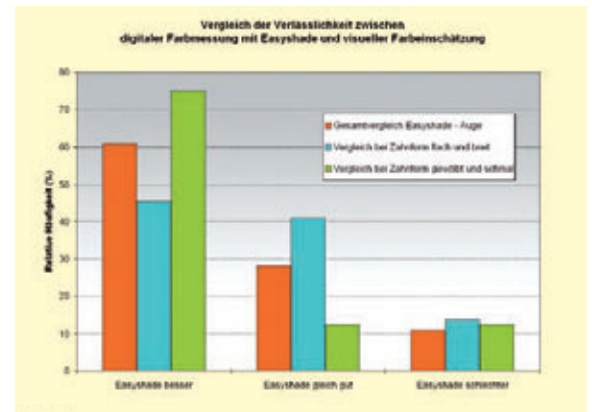


Abb. 10: Es darf geschlussfolgert werden, dass sich in beinahe 90 % der Fälle der Einsatz des Spektrofotometers für die Bestimmung der Zahngrundfarbe lohnt.

Farbeindruck geschenkt werden. Bei breiten und flachen Zähnen zeigt sich die Situation ausgeglichener: Die digitale Farbmessung ist in 45 % der Fälle besser als die visuelle Farbbestimmung und in 41 % gleich gut (blaue Säulen in Abbildung 10). Es darf gefolgert werden, dass dem Ergebnis der Farbmessung bei breiten und flachen Zähnen desto mehr Vertrauen eingeräumt werden kann, je größer die Farbdistanz $\Delta E_{(Studie)}$ zur visuell festgestellten Farbe ausfällt.

Erkenntnis

Die Kernaussage der Studienresultate besteht in der Feststellung, dass in neun von zehn Fällen die Qualität der Farbmessung mit dem Spektrofotometer VITA Easyshade mindest der Qualität der visuellen Farbbestimmung entspricht. Hierdurch wird für den Praktiker mehr ausgesagt als durch die Angabe der Prozentzahlen, die genau beschreiben, wie oft die Zahnfarbe von wem besser erkannt wurde. Gemäß der Studienergebnisse liegt, über alle Fälle gesehen, ein Verhältnis von 2:1 für das Farbmessgerät vor. Dieses Verhältnis verschiebt sich mit zunehmender Zahnwölbung und abnehmender Zahnbreite tendenziell zugunsten des Gerätes. Allerdings mahnen die Subjektivität, die schließlich jede Schlussbeurteilung beeinflusst, und die oft geringen Unterschiede $\Delta E_{(Studie)}$ zwischen der digital gemessenen Farbe zur Optimalfarbe einerseits und der Optimalfarbe zu visuell eingeschätzten Farbe andererseits zum vorsichtigen Umgang mit prozentgenauen Angaben. Ohne Zweifel steht aber fest, dass im Rahmen der Probleme um die Farberkennung und Farbgebung dem Praktiker mit einem Spektrofotometer wie dem VITA Easyshade ein sehr wertvolles Hilfsgerät gegeben ist. Hinsichtlich der Herstellung einer keramischen Rekonstruktion soll aber deutlich betont sein, dass mit der richtigen Einstellung der Grundfarbe erst eines der Probleme gelöst ist. Die Nachahmung der optischen Effekte stellt den zweiten, nicht minder wichtigen Problemkreis dar. ■

Dr. med. dent. Andres Baltzer
Rheinfelden, Schweiz

■ Promotion an der Universität Basel ■ Zahnärztliche Gemeinschaftspraxis in Rheinfelden ■ Erprober und Berater für die Unternehmen Sirona Dental Systems, VITA Zahnfabrik und Straumann
Kontakt: andres@baltzer.ch



ZTLM Vanik Kaufmann-Jinoian
Liestal, Schweiz

■ Ausbildung zum Zahntechnischen Lehrmeister in Basel
■ Inhaber des Zahntechnischen Labors Cera-Tech GmbH in Liestal ■ Internationaler Ausbilder für VITA Zahnfabrik
■ Beraterfunktion für Sirona Dental Systems
Kontakt: vjinoian@aol.com



Ihr Spezialist
in der Modellherstellung ...
Ihr Fräszentrum
mit Service!



Scannen
Konstruieren
Fräsen

Attraktive Angebote:
Telefon 040-381415



model-tray®
GMBH FÜR RATIONELLEN DENTAL-BEDARF

model-tray GmbH für rationellen Dental-Bedarf
Julius-Vosseler-Str. 42, 22527 Hamburg
Tel.: +49-(0)40-381415 / Fax: +49-(0)40-387502
www.model-tray.de / mts@model-tray.de