

P. Gehrke^a/ U. Riekeberg^b/ O. Fackler^c / G. Dhom^d

Comparison of In Vivo Visual, Spectrophotometric and Colorimetric Shade Determination of Teeth and Implant-supported Crowns

Vergleichsstudie zur visuellen, spektrofotometrischen und kolorimetrischen Farbestimmung an natürlichen Zähnen und Implantatkronen

a Niedergelassener Zahnarzt in Ludwigshafen

b Niedergelassener Zahnarzt in Moers

c Zahntechniker, Dentallabor in Viernheim

d Professor of Management of Dental and Oral Medicine, Steinbeis-Hochschule, Berlin

a Dentist in Private Practice, Ludwigshafen, Germany.

b Dentist in Private Practice, Moers, Germany.

c Dental Technician, Dental Laboratory, Viernheim, Germany.

d Professor of Management of Dental and Oral Medicine, Steinbeis University, Berlin, Germany.

Zusammenfassung

Zielsetzung: Eine Herausforderung für die restaurative Zahnheilkunde besteht im Erfassen, Übermitteln und Interpretieren von Farben. Die visuelle Bestimmung von Zahnfarben gilt als äußerst subjektiv, da die Wahrnehmung von Farben diversen endogenen und exogenen Einflüssen unterliegt. Die vorliegende Untersuchung wurde durchgeführt, um digitale Farbnahmesysteme auf ihre Zuverlässigkeit und Reproduzierbarkeit zu untersuchen und um die Ergebnisse mit denen der konventionellen, visuellen Methode zu vergleichen.

Material und Methoden: Die Abstufungen bei den Zahnfarben wurden mit einem Spektrofotometer (ShadePilot, Version 2.41; DeguDent, Hanau) und einem Kolorimeter (ShadeVision, Version 1.20; Ammann GIRRbach, Pforzheim) analysiert. Die Ergebnisse der beiden digitalen Farbnahmesysteme wurden auf ihre Übereinstimmung geprüft. Zum Vergleich wurden drei menschliche Begutachter herangezogen, die laut Anamnese frei von Farbfehlsichtigkeit waren. 40 Probanden wurden unter

Abstract

Purpose: The aim of the present study was to evaluate the reliability and re-reproducibility of digital shade selection devices, and to correlate the results with conventional human visual shade assessment.

Materials and Methods: Tooth color gradation and agreement of two different digital shade selection instruments were determined by employing a spectro-photometer (ShadePilot, Degudent; Hanau, Germany, Software V. 2.41) and a colorimeter (ShadeVision, Ammann GIRRbach; Pforzheim, Germany; Software V. 1.20). The devices were compared with three human examiners with a negative history of visual color deficiency, looking at 40 subjects under clinical conditions. In one half of the test persons, the visual and digital shade determination was performed on the right maxillary central incisor that was free of any restoration, whereas the other half was carried out in subjects with single implant-supported PFM crowns in the same region. The computer-based readings across the regions (incisal, middle, cervical) were recorded two con-

secutive times. Differences between the computer-based readings were evaluated with the χ test (Chi χ).

Results: The same shade was obtained by all three human examiners in 22.5% (9 of 40 cases), by all colorimetric readings in 35% (14 of 40 cases), and by all spectrophotometric readings in 55% (22 of 40 cases). There was considerable agreement between the first and second reading of the investigated spectrophotometric and colorimetric shade instruments. The spectrophotometer demonstrated color matches of the first and second reading in 81.7% of the in vivo measurements (coefficient of contingency = 0.98; χ test $p = 0.99$), while the colorimeter exhibited matches in 70% (coefficient of contingency = 0.96; χ test $p = 0.96$) of the cases. Hence, the spectrophotometer exhibited the highest agreement between the two consecutive readings. While no significant influence of the measuring point (incisal, middle, cervical) on the reproducibility of color results could be ascertained, both the colorimeter and spectrophotometer displayed a statistically significant difference for the frequency distribution of color categories for teeth vs PFM crowns (both χ test $p < 0.0001$). The measuring results of the colorimeter showed distinctly lighter shades than those of the spectrophotometer.

Conclusions: Within the limitations of this study, the results suggest that spectrophotometric shade determination is more reproducible compared to conventional visual shade assessment. It can serve as a reliable addition in color matching and enhances the level of shade analysis, communication, interpretation, and fabrication of dental restorations.

Keywords: shade determination, spectrophotometric, colorimetric, visual human, measurement agreement, implant crown.

Introduction

An accurate and systematic approach is required to evaluate, diagnose and resolve esthetic problems in dentistry predictably. Tooth color is obviously essential for the final result, although esthetic treatment planning should never be focused around shade improvements alone. The ultimate goal is the achievement of a pleasing smile architecture considering the proper proportion and relation

klinischen Bedingungen untersucht. Die visuellen und digitalen Farbbestimmungen wurden jeweils am rechten mittleren Schneidezahn im Oberkiefer durchgeführt. Diese waren in 20 Fällen unrestaurierte natürliche Zähne, in den anderen 20 Fällen implantatgetragene Metallkeramikronen. Die digitalen Einzelmessungen wurden zweimal in Folge an drei Messpunkten (inzisal, zentral und zervikal) durchgeführt. Unterschiede zwischen den digitalen Messungen wurden mit dem Chi-Quadrat-Test (χ^2 -Test) ausgewertet.

Resultate: Die drei visuellen Begutachter kamen in 9/40 Fällen (22,5 %) auf übereinstimmende Farben. Die kolorimetrischen Messungen lieferten in 14/40 Fällen (35 %) und alle spektrofotometrischen Messungen in 22/40 Fällen (55 %) übereinstimmende Farben. Zwischen den ersten und zweiten Messungen herrschte beim spektrofotometrischen wie auch beim kolorimetrischen System klare Übereinstimmung. Das Spektrofotometer erzielte bei 81,7 % aller In-vivo-Messungen Farbgleichheit zwischen der ersten und zweiten Messung (Kontingenzkoeffizient = 0,98; χ^2 -Test: $p = 0,99$); beim Kolorimeter waren es 70 % (Kontingenzkoeffizient = 0,96; χ^2 -Test: $p = 0,96$). Die Übereinstimmung zwischen den konsekutiven Messungen war somit beim Spektrofotometer am größten. Keinen signifikanten Einfluss auf die Reproduzierbarkeit der Farbdaten hatten die verschiedenen Messpunkte (inzisal, zentral, zervikal). Dagegen waren die diversen Farbkategorien beim Kolorimeter als auch beim Spektrofotometer je nach Zahntyp (natürliche Zähne gegenüber Metallkeramikronen) signifikant unterschiedlich verteilt (χ^2 -Test: $p < 0,0001$ in beiden Fällen). Das Kolorimeter lieferte deutlich hellere Farben als das Spektrofotometer.

Schlussfolgerung: Im Rahmen des Studiendesigns zeigen die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung eine höhere Reproduzierbarkeit der Farbbestimmung mit spektrofotometrischen Methoden im Vergleich zur visuellen Farbnahme. Diese stellen damit eine zuverlässige Ergänzung zum Farbabgleich dar und verbessern die Erfassung, Übermittlung und Interpretation von Zahnfarben bei der Herstellung von Zahnersatz.

Schlüsselwörter: Farbbestimmung, Spektrofotometrie, Kolorimetrie, Visuelle Farbnahme, Übereinstimmung von Messergebnissen, Implantatkronen.

Einleitung

Zur Beurteilung, Diagnose und Behebung von ästhetischen Problemen sind in der Zahnmedizin exakte systematische Herangehensweisen erforderlich. Selbstverständlich spielt die Zahnfarbe für das Ergebnis der Behandlung eine entscheidende Rolle. Dennoch sollte sich eine Behandlungsplanung nicht ausschließlich auf eine Verbesserung der Farbe beschränken. Das ultimative Ziel ist eine ästhetische Architektur des Lächelns, unter Berücksichtigung der etablierten Grundsätze zu korrekten Proportionen und Relationen.¹⁻³ Farben exakt zu analysieren und reproduzieren, gehört zu den schwierigsten Aufgaben der ästhetischen Zahnheilkunde. Je nach einfallendem Licht kann sich die Farbe von Zähnen und Kronen durch verschiedene Parameter verändern. Die wichtigsten davon sind Oberflächentextur, anatomische Form und Kronenrandschluss.⁴⁻¹¹ Auch Oberflächenglanz und Fluoreszenz können die Farbe beeinflussen.^{12, 13} Bei der visuellen Farbbestimmung wird die Zahnfarbe im Mund des Patienten mit einem handelsüblichen Farbring verglichen und die ausgewählte Farbe an das Dentallabor übermittelt. Dies ist die gängigste Methode bei der Herstellung von Zahnersatz, gleichgültig ob es sich dabei um metall- oder vollkeramische Kronen oder Brücken auf Zähnen oder Implantaten handelt. Gleichzeitig wird die visuelle Farbnahme als höchst subjektive Methode kritisiert.¹⁴⁻¹⁷ Wie eine Farbe wahrgenommen wird, ist von vielen Faktoren abhängig. Unbefriedigende Ergebnisse sind die Folge von exogenen und endogenen Faktoren: Defizite in Erfahrung und Farbsichtigkeit spielen hier ebenso eine Rolle wie unterschiedliche Lichtverhältnisse, emotionale Faktoren, Ernährungsgewohnheiten, Müdigkeit und Alter des Betrachters.¹⁸⁻²² Berichten zufolge herrschen auch Defizite bei der verbalen Beschreibung von visuell beurteilten Farbmerkmalen.^{23, 24} Hinzu kommt, dass die meisten handelsüblichen Farbringe nicht das gesamte Spektrum an Zahnfarben abdecken und ihre „Farbstandards“ großen Schwankungen unterliegen.²⁵⁻²⁸ Da also Zahnfarben mit dem freien Auge nicht konsequent erfassbar sind, wäre ein objektives Verfahren wünschenswert. Mit computergestützten Methoden zur Farbmessung ließen sich Fehlerquellen der eben beschriebenen Art beseitigen und reproduzierbare Ergebnisse realisieren. Mittels spektrofotometrischer und kolorimetrischer Methoden können Daten im Rahmen des L^*a^*b -Farbraums gewonnen und

according to established principles.¹⁻³ However, one of the most challenging aspects of esthetic dentistry is color assessment and its reproduction. Several factors can modify tooth and porcelain color when light strikes its surface. Surface texture and anatomic form along with marginal integrity are considered the most critical.⁴⁻¹¹ In addition, surface gloss and fluorescence can also modify tooth or crown shades.^{12,13} Visual color determination by comparison of a patient's tooth with commercially available shade guides is the most frequently applied method for color communication during the fabrication of porcelain-fused-to-metal or all-ceramic restorations on teeth and implants. Determination of tooth color by visual means is considered highly subjective.¹⁴⁻¹⁷ There are many variables that affect how a color is perceived. External and internal parameters such as experience, light conditions, fatigue, age, nutrition, emotions, or visual color deficiency lead to inconsistencies.¹⁸⁻²² In addition, standardized verbal means for the communication of visually assessed color characteristics are reported to be limited.^{23,24} Finally, most existing commercial shade guides do not present the entire spectrum of tooth color and their color "standard" varies greatly.²⁵⁻²⁸ These inconsistencies of visual color-matching therefore make an objective method desirable. By utilizing computer-based color measurement, it is generally possible to exclude such sources of error and thus obtain reproducible results. Based on CIE-Lab parameters (Commission Internationale de L'Eclairage, L = lightness, a = chroma along red-green axis, b = chroma along yellow-blue axis), data obtained from computerized spectrophotometry or colorimetry allow for mathematical comparison.²⁹ Color matching methodology employing computer-aided calculations based on color theory are widely used in the paint, printing, and textile industry. Due to the complex anatomical structure and different barrier layers of a tooth, specific requirements to the instrumental technology are required in dentistry. In the case of adjacent metal-ceramic or all-ceramic restorations on teeth or implants, shade determination can be clinically challenging. The shade-generating structures of existing crowns cause a different color reflection and perception of shade. Thus, there is a need to know how shade selection devices perform in matching and measuring existing crown color. An increasing number of hand-held computer-based instruments for digital shade selection have entered the market. Despite manufacturers' claims, little is known about whether computer-aided tooth shade

techniques are equally effective or clinically superior to visual color matching.³⁰⁻³²

The aim of the present clinical study was to assess the match of visually vs computer-aided tooth and crown shade selection in vivo, employing a dental spectrophotometer and colorimeter. The influence of surface texture and material of the measuring object (tooth vs PFM crown) on the detected shade results was analyzed. The accuracy in reproducibility of color gradation across different tooth and crown regions from the incisal, to the midfacial, through the cervical region was another point of interest.

Materials and Methods

In the present study, tooth color distribution and agreement of two different digital shade selection instruments were determined by employing a spectrophotometer (ShadePilot, Degudent; Hanau, Germany, Software V. 2.41) and a colorimeter (ShadeVision, Ammann Girrbach; Pforzheim, Germany; Software V. 1.20). The devices were compared with three human examiners (2 dentists and 1 dental technician) looking at 40 test persons under clinical conditions (Tab. 1). Figure 1 depicts the study design.

Test persons

The subject of the investigation was the region of the maxillary central incisor of all 40 test persons because of its visual exposition and therefore highest requirements in esthetics. There were 29 female and 11 male patients, with an age range from 17 to 65 years (mean 28 years). The inclusion criteria were as follows: natural maxillary right central incisor present or replaced by an implant-supported single porcelain-fused-to-metal crown (PFM), no history of orthodontic treatment, no history of tooth bleaching, no carious lesions present, and no history of gingivitis, periodontitis, or periimplantitis. In half of the subjects (20 test persons), the visual and digital shade determination was performed on the right maxillary central incisor that was free of any restoration, whereas the other half was carried out in subjects with single implant-supported PFM crowns in the same region. The persons to be tested were requested to remove any make-up and to brush their teeth prior to shade selection.

auf mathematischer Basis verglichen werden.²⁹ Dieser wurde von der CIE (Commission Internationale de L'Eclairage) definiert und umfasst Helligkeit (L), Farbsättigung entlang der Rot-Grün-Achse (a) und Farbsättigung entlang der Gelb-Blau-Achse (b). Farbbestimmungen, die auf Grundlage von computergestützten Berechnungen im Einklang mit der Farbenlehre erstellt werden, finden in der Farben-, Druck- und Textilindustrie breite Anwendung. Aufgrund der komplexen anatomischen Strukturen von Zähnen, die unterschiedliche Barrierschichten aufweisen, bestehen spezielle Anforderungen an die digitale Farbbestimmung in der Zahnheilkunde. Eine klinische Herausforderung stellt die präzise Farbauswahl für neue Metallkeramik- bzw. Vollkeramikrekonstruktionen auf Zähnen oder Implantaten dar, die neben bereits bestehenden Versorgungen platziert werden. Die farbenerzeugenden Strukturen dieser bestehenden Kronen führen zu einer unterschiedlichen Reflektion und damit auch zu einer unterschiedlichen Wahrnehmung von Farbe. Ob und wie akkurat digitale Farbmessgeräte die Farbe bestehender Restaurationen messen und reproduzieren können ist dabei von besonderem Interesse.

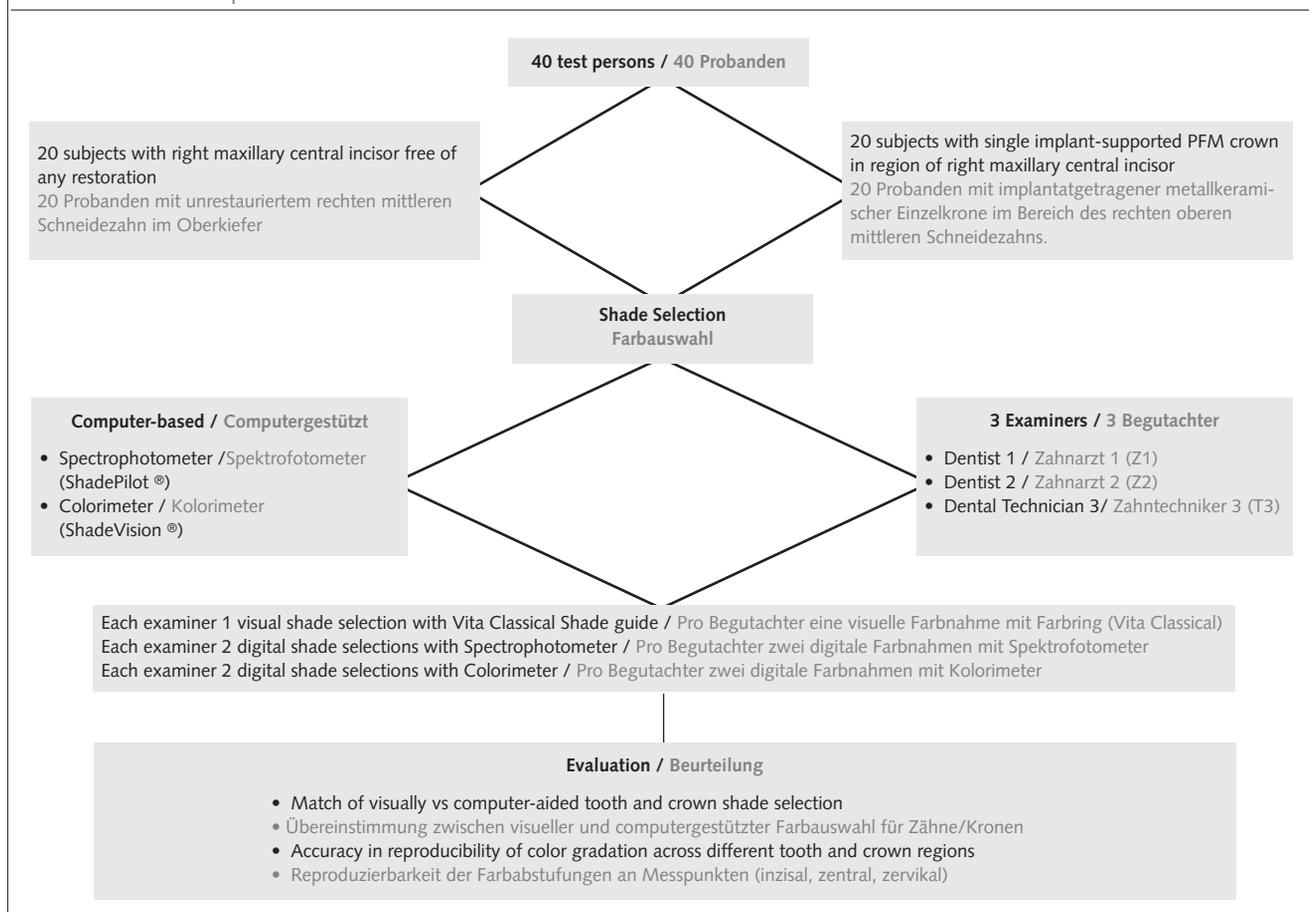
Geeignete Messinstrumente sollten für den Einsatz in der Zahnmedizin bestimmte Anforderungen erfüllen. Von der Industrie wird eine Vielzahl von Handgeräten zur digitalen Farbnahme angeboten. Entgegen den Herstellerangaben gibt es nur wenig gesicherte Erkenntnisse darüber, ob computergestützte Farbbestimmungsmethoden klinisch ebenbürtig oder besser sind als die konventionellen Methoden zur visuellen Farbabmusterung.³⁰⁻³²

In der vorliegenden Studie wurde untersucht, welches Maß an Übereinstimmung zwischen visueller Farbnahme und computergestützter Technik (Spektrofotometer und Kolorimeter) besteht. Zähne und Metallkeramikronen wurden hierzu in vivo beurteilt. Analysiert wurde auch der Einfluss von Material und Oberflächentextur auf die Farben und wie genau die ermittelten Farbabstufungen an verschiedenen Messpunkten (inzisal, zentral und zervikal) reproduziert werden konnten.

Material und Methode

In der vorliegenden Untersuchung wurden die Verteilungen und Abstufungen von Zahnfarben mit Hilfe eines Spektrofotometers (ShadePilot, Version 2.41; Degudent, Hanau) und eines Kolorimeters (ShadeVision, Ver-

Fig 1 Overview of study design
Abb. 1 Studienkonzept im Überblick.



sion 1.20; Amann Girrbaach, Pforzheim) analysiert. Die Ergebnisse der beiden digitalen Farbnahmesysteme wurden auf ihre Übereinstimmung geprüft. Zum Vergleich wurden die visuellen Farbbestimmungen von drei Untersuchern (zwei Zahnärzte und ein Zahntechniker) herangezogen (Tab. 1). Insgesamt wurden 40 Probanden unter klinischen Bedingungen untersucht (Abb. 1).

Probanden

Gegenstand der Untersuchung war bei allen 40 Probanden ein mittlerer oberer Schneidezahn, da dieser Zahntyp am besten sichtbar ist und unter ästhetischen Gesichtspunkten die anspruchsvollste Region darstellt. Die Studie umfasste 29 Frauen und 11 Männer im Alter von 17 bis 65 Jahren (Durchschnitt: 28 Jahre). Aufgenommen wurden nur Probanden, deren rechter mittlerer

Visual assessment of tooth and crown shades

Three experienced examiners (Dentist 1, Dentist 2, Technician 3) with a negative history of visual color deficiency independently determined the color shades under daylight conditions, with no time limits for the whole tooth or implant-supported crown (subjective average), utilizing the same Vita Classical Shade guide (Vita Zahnfabrik; Bad Säckingen, Germany). Shades were selected with slightly moistened teeth.

Spectrophotometric and colorimetric assessment of tooth and crown shades

The same examiners (D1, D2, T3) performed computer-aided shade selections on the teeth and implant-supported PFM crowns accordingly (Fig. 2–3, Tab. 2). Prior

Vita shade Vita-Farbe	Examiner 1 (D1) Begutachter 1 (Z1)		Examiner 2 (D2) Begutachter 2 (Z2)		Examiner 3 (T3) Begutachter 3 (T3)	
	N	(%)	N	(%)	N	(%)
A1	8	20.0%	8	20.0%	6	15.0%
A2	9	22.5%	10	25.0%	15	37.5%
A3	8	20.0%	3	7.5%	3	7.5%
A3.5	1	2.5%	3	7.5%	5	12.5%
A4	1	2.5%	1	2.5%	1	2.5%
B1	2	5.0%	3	7.5%	1	2.5%
B2	4	10.0%	4	10.0%	1	2.5%
B3	0	0.0%	1	2.5%	1	2.5%
C1	0	0.0%	1	2.5%	1	2.5%
C2	4	10.0%	3	7.5%	3	7.5%
C3	2	5.0%	2	5.0%	0	0.0%
C4	1	2.5%	0	0.0%	0	0.0%
D2	0	0.0%	0	0.0%	1	2.5%
D3	0	0.0%	1	2.5%	2	5.0%
Total/Gesamt	40	100.0%	40	100.0%	40	100.0%

Table 1 Frequency distribution of visual shade determination independent of color gradation (incisal, middle, cervical) and measuring object (tooth vs crown).

Tab. 1 Häufigkeitsverteilung bei visueller Farbbestimmung, unabhängig von Messpunkt (inzisal/zentral/zervikal) und Messobjekt (Zahn/Krone).

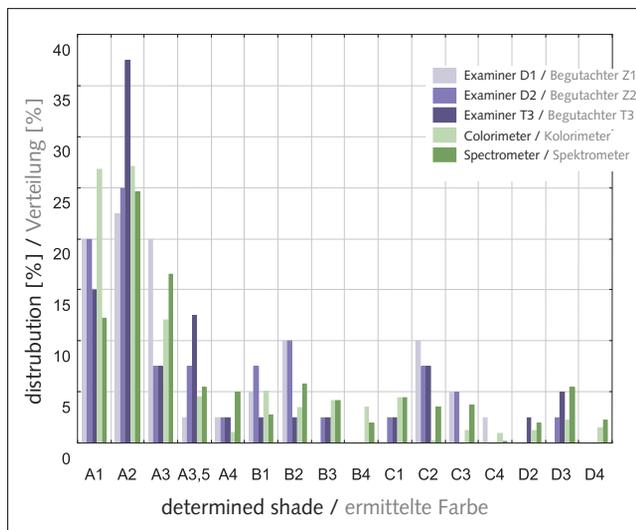


Fig 2 Color distribution of the individual methods used for shade determination, independent of measuring object (tooth vs crown) and tooth third.

Abb. 2 Farbverteilung für die einzelnen Methoden der Farbbestimmung, unabhängig von Messobjekt (Zahn/Krone) und Messpunkt (inzisal/zentral/zervikal).

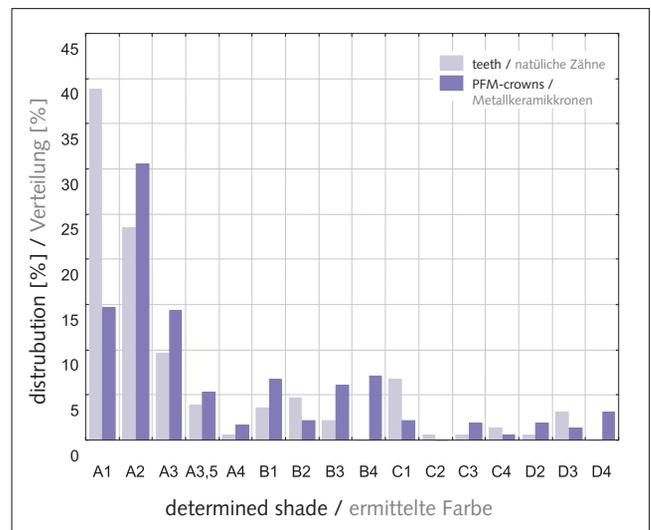


Fig 3 Graphical representation of frequency distribution of shade determination with colorimeter for teeth vs PFM crowns.

Abb. 3 Grafische Darstellung der Häufigkeitsverteilung bei Farbbestimmung mit Kolorimeter (Zähne gegenüber Metallkeramikkrone).

Schneidezahn im Oberkiefer vorhanden war oder durch eine implantatgetragene metallkeramische Einzelkrone ersetzt wurde. Ausschlusskriterien waren: aktueller Kariesbefall, Anamnese kieferorthopädischer Behandlungen, Zahnaufhellung durch Bleichen sowie Gingivitis, Parodontitis oder Periimplantitis. Alle visuellen und digitalen Farbbestimmungen wurden jeweils am rechten mittleren Schneidezahn im Oberkiefer durchgeführt. Diese waren in 20 Fällen unrestaurierte natürliche Zähne, in den anderen 20 Fällen implantatgetragene Metallkeramikronen. Alle Probanden wurden vor der Farbnahme zum Zähneputzen und Entfernen von Make-up angehalten.

Visuelle Farbbestimmung an Zähnen und Kronen

Drei erfahrene Untersucher (Zahnarzt 1, Zahnarzt 2, Techniker 3), mit negativer Anamnese im Hinblick auf Farbfehlsichtigkeit, führten die visuellen Farbnahmen an den Zähnen und Implantatkronen durch. Dies geschah ohne zeitliche Einschränkungen bei Tageslicht und immer unter Verwendung desselben Farbrings (Vita Classical, Vita Zahnfabrik, Bad Säckingen). Die Zähne waren bei der Farbauswahl leicht befeuchtet.

Spektrofotometrische und kolorimetrische Farbbestimmung

Analog dazu führten dieselben Begutachter (Z1, Z2, T3) auch die computergestützten Farbbestimmungen an den Zähnen und implantatgetragenen Metallkeramikronen durch (Abb. 2 bis 3, Tab. 2). Alle drei hatten sich hierzu in die Thematik eingearbeitet und waren zum Zeitpunkt der Messungen entsprechend gut mit beiden Techniken vertraut. Spektrofotometer und Kolorimeter arbeiten mit einer Intraoralkamera, die mit einem sterilisierbaren Adapter ausgestattet ist. Dieser wurde unter Berücksichtigung der Herstellerangaben auf den untersuchten Zähnen/Kronen in Position gebracht. Das von der Kamera erfasste Objekt wurde orthoradial im Messraster der Palmtop-Anzeige zentriert. Danach wurden die Bilddaten für alle Zähne/Kronen zweimal in Folge aufgezeichnet.

Table 2 Frequency distribution of shade determination with colorimeter for teeth vs PFM crowns.

Tab. 2 Häufigkeitsverteilung bei Farbbestimmung mit Kolorimeter, Zähne gegenüber Metallkeramikronen (MKK).

	Teeth/Zähne		PFM crowns/MKK		Total/Gesamt
	N	%	N	%	
A1	140	38.9	53	14.7	193
A2	85	23.6	110	30.6	195
A3	35	9.7	52	14.4	87
A3.5	14	3.9	19	5.3	33
A4	2	0.6	6	1.7	8
B1	13	3.6	24	6.7	37
B2	17	4.7	8	2.2	25
B3	8	2.2	22	6.1	30
B4	0	0.0	26	7.2	26
C1	24	6.7	8	2.2	32
C2	2	0.6	0	0.0	2
C3	2	0.6	7	1.9	9
C4	5	1.4	2	0.6	7
D2	2	0.6	7	1.9	9
D3	11	3.1	5	1.4	16
D4	0	0.0	11	3.1	11
Total	360	100.0	360	100.0	720

χ^2 test p<0.0001

to this evaluation, the examiners carried out substantial training in order to become familiar with the handling of the particular technique. The sterilizable adapter of the spectrophotometer's and colorimeter's intraoral camera was positioned on the alveolar process over the respective tooth or implant crown according to the manufacturer's instructions. Once the resulting camera image of the object was centered in an orthoradial way in the measuring grid depicted on the computer hand-held screen, the corresponding data were recorded two consecutive times for each of the 20 teeth and implant-supported crowns.

Statistical analysis

Differences between the computer-based readings were evaluated with the χ test (χ^2), with $p < 0.005$ considered to be significant. The coefficient of contingency was utilized as a measure of the strength of dependence between the two consecutive readings for each digital shade instrument (range: -1 to +1). All statistical analyses were run on the Statistics Package Statistica (StatSoft;

Table 3 Frequency distribution of shade determination with colorimeter for incisal, middle, and cervical tooth and PFM crown third, independent of measured object (tooth vs crown).

Tab. 3 Häufigkeitsverteilung bei Farbbestimmung mit Kolorimeter je nach Messpunkten (inzisal/zentral/zervikal), aber unabhängig von Messobjekten (Zahn/Krone).

	Incisal/Inzisal		Middle/Zentral		Cervical/Zervikal	
	N	%	N	%	N	%
A1	100	41.7	57	23.8	36	15.0
A2	67	27.9	50	20.8	78	32.5
A3	15	6.3	26	10.8	46	19.2
A3.5	5	2.1	12	5.0	16	6.7
A4	0	0.0	2	0.8	6	2.5
B1	11	4.6	20	8.3	6	2.5
B2	5	2.1	11	4.6	9	3.8
B3	4	1.7	8	3.3	18	7.5
B4	23	9.6	2	0.8	1	0.4
C1	2	0.8	30	12.5	0	0.0
C2	0	0.0	2	0.8	0	0.0
C3	0	0.0	1	0.4	8	3.3
C4	6	2.5	0	0.0	1	0.4
D2	0	0.0	5	2.1	4	1.7
D3	2	0.8	4	1.7	10	4.2
D4	0	0.0	10	4.2	1	0.4
Total	240	100.0	240	100.0	240	100.0

χ^2 test p<0.0001

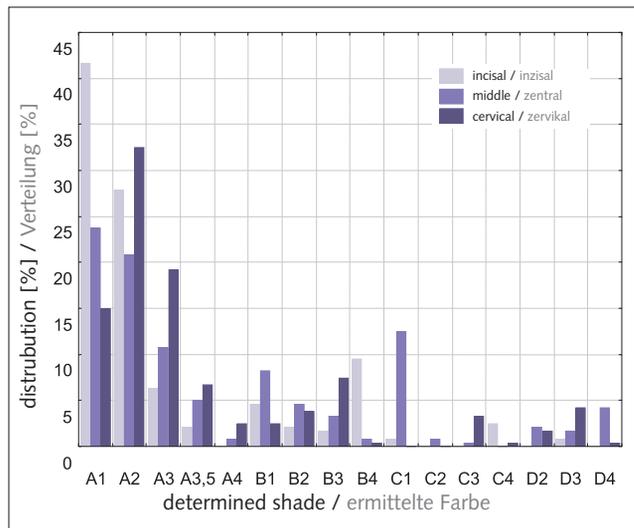


Fig 4 Graphical representation of frequency distribution of shade determination with colorimeter for incisal, middle, and cervical tooth and PFM crown third, in-dependent of measured object (tooth vs crown).

Abb. 4 Grafische Darstellung der Häufigkeitsverteilung bei Farbbestimmung mit Kolorimeter je nach Messpunkten (inzisal/zentral/zervikal), aber unabhängig von Messobjekten (Zahn/Krone).

Tulsa, OK, USA). In the present analysis, only qualitative statements can be made about the agreement of the utilized measuring methods because L*a*b* values are only delivered by the spectrophotometer (ShadePilot). In addition, according to the manufacturer's instruction, these CIE-Lab values would only be suitable for comparison within the system. Consequently, comparisons with other L*a*b* sources would not be acceptable.

Results

The visual shade selection on 40 teeth and implant-supported PFM crowns by 3 examiners delivered 40 x 3 = 120 assessments. The computer-based readings across the regions (incisal, middle, cervical) were recorded two consecutive times for each of the 20 teeth and implant-supported crowns, applying a spectrophotometer and colorimeter. Consequently, the digitally detected data com-

Statistik

Unterschiede zwischen den digitalen Messungen wurden mit dem Chi-Quadrat-Test (χ^2 -Test) ausgewertet. Das Signifikanzniveau lag bei $p < 0,005$. Der Kontingenzkoeffizient wurde für die digitalen Farbnahmesysteme errechnet, um die Stärke der Abhängigkeit zwischen den beiden konsekutiven Messungen zu ermitteln (Bereich: -1/+1). Alle statistischen Auswertungen erfolgten mit dem Softwarepaket Statistica (StatSoft, Inc., Tulsa, Oklahoma, USA). Aussagen zur Übereinstimmung zwischen den Messmethoden können nur auf qualitativer Basis getroffen werden, da lediglich das Spektrofotometer (ShadePilot) L*a*b*-Werte ausgibt. Außerdem würden sich diese CIE-Lab-Werte nach Angaben des Herstellers nur innerhalb des Systems für Vergleiche eignen, nicht aber zum Vergleich mit L*a*b*-Werten anderer Herkunft. Somit war eine akzeptable Vergleichsgrundlage ohnehin nicht vorhanden.

Colorimeter: Agreement of 1st and 2nd assessment independent of measuring object/ Kolorimeter: Übereinstimmung zwischen 1. und 2. Messung, unabhängig von Messobjekten (Zähne/Kronen)																	
Measuring 1/ Messung 1	A1	A2	A3	A3.5	A4	B1	B2	B3	B4	C1	C2	C3	C4	D2	D3	D4	Total/ Gesamt
A1	81	8	0	0	0	4	3	0	0	1	0	0	1	0	0	0	98
A2	4	70	12	0	0	0	1	2	0	1	0	0	0	0	5	0	95
A3	0	9	26	1	0	0	0	2	0	0	0	2	0	0	1	1	42
A3.5	0	0	1	12	2	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	17
A4	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	3
B1	5	0	0	0	0	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18
B2	2	11	0	0	0	1	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	18
B3	0	1	3	1	0	0	0	8	1	0	0	0	0	0	0	1	15
B4	0	0	0	1	0	0	0	0	12	0	0	0	0	0	0	0	13
C1	2	0	0	0	0	1	0	0	0	12	0	0	0	2	0	0	17
C2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
C3	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	4
C4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	3
D2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	3	0	0	4
D3	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	6
D4	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	3	6
Total	95	100	45	16	5	19	7	15	13	15	1	5	4	5	10	5	360

Table 4 Correlation between first and second shade assessment with colorimeter independent of measuring object. Results indicated that the agreement between the first and second measurement was 70 % (252 of 360 highlighted in blue; coefficient of contingency = 0.96; χ^2 test $p = 0.96$).

Tab. 4 Korrelation zwischen erster und zweiter Farbbestimmung mit Kolorimeter, unabhängig von Messobjekten. Die Ergebnisse zeigen 70 % Übereinstimmung zwischen den ersten und zweiten Messungen (252 von 360, blau hervorgehoben; Kontingenzkoeffizient = 0,96; χ^2 -Test: $p = 0,96$).

Resultate

Drei Untersucher führten an jeweils 40 Zähnen und implantatgetragenen Metallkeramikronen insgesamt 120 Farbbestimmungen durch. Die computergestützten Messungen wurden pro Zahn und Krone an drei Messpunkten (inzisal, zentral und zervikal) zweimal in Folge durchgeführt. Alle Messpunkte wurden sowohl mit dem Spektrofotometer als auch mit dem Kolorimeter analysiert. Folglich wurden insgesamt 1440 ($40 \times 3 \times 2 \times 2 \times 3$) Einzelmessungen durchgeführt, die insgesamt 1560 Farbwerte erbrachten. Die drei visuellen Begutachter kamen in 9/40 Fällen (22,5 %) auf übereinstimmende Farben. Alle kolorimetrischen Messungen lieferten in 14/40 Fällen (35 %) (Tab. 4 bis 6, Abb. 3) und alle spektrofotometrischen Messungen in 22/40 Fällen (55 %) übereinstimmende Farben (Tab. 7 bis 11, Abb. 5). Zwischen den ersten und zweiten Messungen herrschte beim spektrofotometrischen wie auch beim kolorimetrischen System große Übereinstimmung (Tab. 12). Das Spektrofotometer erzielte bei 81,7 % aller In-vivo-Messungen Farbgleichheit zwischen der ersten und zweiten Messung (Kontingenzkoeffizient = 0,98; χ -Test: $p = 0,99$); beim Kolorimeter waren es 70 % (Kontingenzkoeffizient =

40 x 3 x 2 x 2 x 3 = 1.440 individual evaluations (total of shade values = 1.560). The same shade was obtained by all three human examiners in 22.5% (9 of 40 cases), by all colorimetric readings in 35% (14 of 40 cases) (Tab. 4–6, Fig. 3), and by all spectrophotometric readings in 55% (22 of 40 cases) (Tab. 7–11, Fig. 5). There was considerable agreement between the first and second reading of the investigated spectrophotometric and colorimetric shade instruments (Tab. 12). The spectrophotometer demonstrated color matches of the first and second reading in 81.7% of the in vivo measurements (coefficient of contingency = 0.98; χ test $p = 0.99$), while the colorimeter exhibited matches in 70% (coefficient of contingency = 0.96; χ test $p = 0.96$) of the cases (Tab. 4 and 9). Hence, the spectrophotometer exhibited the highest agreement between the two consecutive readings. Neither the differences between the portions of complete matches among the digital devices ($p = 0.12$) nor the differences between the visual shade assessment and colorimetric determination ($p = 0.32$) were statistically significant. However, considerable discrepancies were found between the portions of complete matches of the visual color assessments and the spectrophotometric readings ($p = 0.0055$). While no significant influence of

Colorimeter:
Agreement of 1st and 2nd assessment for teeth (region 11)/
Kolorimeter:
Übereinstimmung zwischen 1. und 2. Messung, basierend auf natürlichen Zähnen (Regio 11)

Measuring 1/ Messung 1	A1	A2	A3	A3.5	A4	B1	B2	B3	C1	C2	C3	C4	D2	D3	Total/ Gesamt
A1	58	5	0	0	0	4	2	0	0	0	0	1	0	0	70
A2	4	26	6	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	2	40
A3	0	7	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	17
A3.5	0	0	1	5	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	8
A4	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	1	0	0	0	1
B1	3	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	6
B2	2	7	0	0	0	0	2	1	0	0	0	0	0	0	12
B3	0	0	2	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	4
C1	2	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	1	0	13
C2	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
C3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
C4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	2
D2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
D3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	4
Total	70	45	18	6	1	7	5	4	11	1	1	3	1	7	180

Table 5 Correlation between first and second shade assessment with colorimeter for teeth in region 11. Results indicated that the agreement between the first and second measurement was 66.1 % (119 of 180 highlighted in blue; coefficient of contingency = 0.89; χ^2 test p = 0.98).

Tab. 5 Korrelation zwischen erster und zweiter Farbbestimmung mit Kolorimeter für natürliche Zähne in Regio 11. Die Ergebnisse zeigen 66,1% Übereinstimmung zwischen den ersten und zweiten Messungen (119 von 180, blau hervorgehoben; Kontingenzkoeffizient = 0,89; χ^2 -Test: p = 0,98).

Colorimeter:
Agreement of 1st and 2nd assessment for PFM crowns (region 11)/
Kolorimeter:
Übereinstimmung zwischen 1. und 2. Messung, basierend auf Metallkeramikkronen (Regio 11)

Measuring 1/ Messung 1	A1	A2	A3	A3.5	A4	B1	B2	B3	B4	C1	C2	C3	C4	D2	D3	D4	Total/ Gesamt
A1	23	3	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	28
A2	0	44	6	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	3	0	55
A3	0	2	17	1	0	0	0	2	0	0	0	2	0	0	0	1	25
A3.5	0	0	0	7	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	9
A4	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
B1	2	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12
B2	0	4	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6
B3	0	1	1	0	0	0	0	7	1	0	0	0	0	0	0	1	11
B4	0	0	0	1	0	0	0	0	12	0	0	0	0	0	0	0	13
C1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	2	0	0	0	1	0	0	4
C2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C3	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	3
C4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
D2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	3
D3	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
D4	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	3	6
Total	25	55	27	10	4	12	2	11	13	4	0	4	1	4	3	5	180

Table 6 Correlation between first and second shade assessment with colorimeter for implant-supported PFM crowns in region 11. Results indicated that the agreement between the first and second measurement was 66.1 % (133 of 180 highlighted in blue; coefficient of contingency = 0.91; χ^2 test p = 1).

Tab. 6 Korrelation zwischen erster und zweiter Farbbestimmung mit Kolorimeter für implantatgetragene Metallkeramikkronen in Regio 11. Die Ergebnisse zeigen 66,1 % Übereinstimmung zwischen den ersten und zweiten Messungen (133 von 180, blau hervorgehoben; Kontingenzkoeffizient = 0,91; χ^2 -Test: p = 1).

the measuring point (incisal, middle, cervical) on the reproducibility of color results could be ascertained (Tab. 3/ Fig 4, and Tab 8, Fig 6), both the colorimeter and spectrophotometer displayed a statistically significant difference for the frequency distribution of color categories

0,96; χ^2 -Test: p = 0,96) (Tab. 4, 9). Die Übereinstimmung zwischen den konsekutiven Messungen war somit beim Spektrofotometer am größten. Ein signifikanter Unterschied beim Anteil der Gesamtübereinstimmungen ergab sich weder zwischen den beiden digitalen Systeme-

Table 7 Frequency distribution of shade determination with spectrophotometer for teeth vs PFM crowns.
Tab. 7 Häufigkeitsverteilung bei Farbbestimmung mit Spektrofotometer (Zähne gegenüber Metallkeramikkronen).

	Teeth/ Zähne		PFM crowns/ Metallkeramikkronen		Total/ Gesamt
	N	%	N	%	
A1	60	16.7	28	7.8	88
A2	124	34.4	53	14.7	177
A3	44	12.2	75	20.8	119
A3.5	18	5.0	21	5.8	39
A4	6	1.7	30	8.3	36
B1	9	2.5	11	3.1	20
B2	19	5.3	23	6.4	42
B3	1	0.3	29	8.1	30
B4	1	0.3	13	3.6	14
C1	18	5.0	14	3.9	32
C2	11	3.1	15	4.2	26
C3	10	2.8	17	4.7	27
C4	1	0.3	0	0.0	1
D2	14	3.9	0	0.0	14
D3	24	6.7	15	4.2	39
D4	0	0.0	16	4.4	16
Total	360	100.0	360	100.0	720

χ^2 test $p < 0.0001$

men ($p = 0,12$) noch zwischen der visuellen und kolorimetrischen Methode ($p = 0,32$). Hochsignifikant war dagegen der entsprechende Unterschied zwischen der visuellen und spektrofotometrischen Methode ($p = 0,0055$). Die verschiedenen Messpunkte (inzisal, zentral, zervikal) zeigten keinen signifikanten Einfluss auf die Reproduzierbarkeit der Farbdaten (Tab. 3/Abb. 4 und Tab. 8/Abb. 6). Dagegen waren die diversen Farbkategorien sowohl beim Kolorimeter als auch beim Spektrofotometer je nach Zahntyp (natürliche Zähne gegenüber Metallkeramikkronen) signifikant unterschiedlich verteilt (χ -Test: $p < 0,0001$ in beiden Fällen). Das Kolorimeter lieferte deutlich hellere Farben als das Spektrofotometer. Unabhängig von der verwendeten Methode wurden am häufigsten Zahnfarben identifiziert, die gemessen am Farbring (Vita Classical) in die Gruppe A fielen (Abb. 2). Trotz guter Reproduzierbarkeit war die Übereinstimmungsquote beider digitaler Systeme mit den visuellen Beurteilungen geringer als die Quote zwischen den Begutachtern untereinander (Abb. 7).

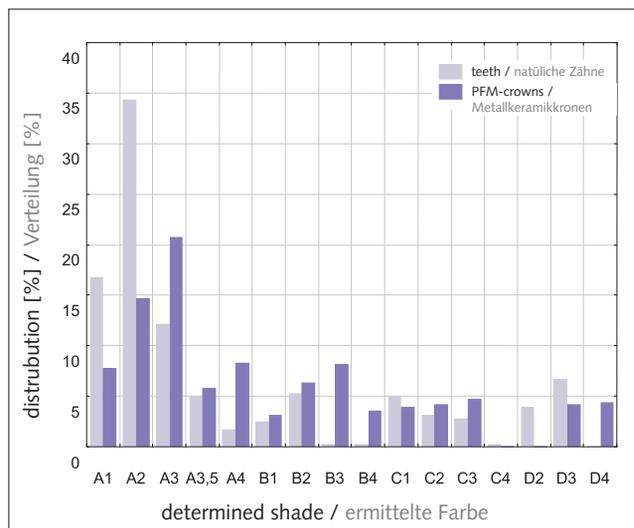


Fig 5 Graphical representation of frequency distribution of shade determination with spectrophotometer for teeth vs PFM crowns.

Abb. 5 Grafische Darstellung der Häufigkeitsverteilung bei Farbbestimmung mit Spektrofotometer (Zähne gegenüber Metallkeramikkronen).

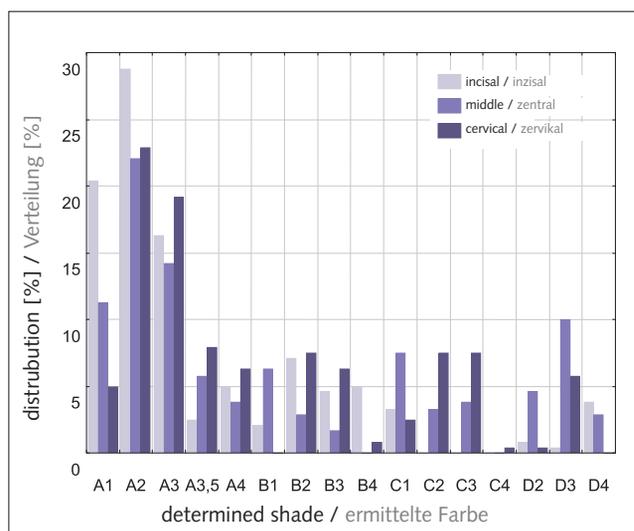


Fig 6 Graphical representation of frequency distribution of shade determination with spectrophotometer for incisal, middle, and cervical tooth and PFM crown third. Independent of measuring object (tooth vs crown).

Abb. 6 Grafische Darstellung der Häufigkeitsverteilung bei Farbbestimmung mit Spektrofotometer je nach Messpunkten (inzisal/zentral/zervikal), aber unabhängig von Messobjekten (Zahn/Krone).

Table 8 Frequency distribution of shade determination with spectrophotometer for incisal, middle, and cervical tooth and PFM crown third, independent of measured object (tooth vs crown).

Tab. 8 Häufigkeitsverteilung bei Farbbestimmung mit Spektrofotometer je nach Messpunkten (inzisal/zentral/zervikal), aber unabhängig von Messobjekten (Zahn/Krone).

	Incisal/Inzisal		Middle/Zentral		Cervical/Zervikal	
	N	%	N	%	N	%
A1	49	20.4	27	11.3	12	5.0
A2	69	28.8	53	22.1	55	22.9
A3	39	16.3	34	14.2	46	19.2
A3.5	6	2.5	14	5.8	19	7.9
A4	12	5.0	9	3.8	15	6.3
B1	5	2.1	15	6.3	0	0.0
B2	17	7.1	7	2.9	18	7.5
B3	11	4.6	4	1.7	15	6.3
B4	12	5.0	0	0.0	2	0.8
C1	8	3.3	18	7.5	6	2.5
C2	0	0.0	8	3.3	18	7.5
C3	0	0.0	9	3.8	18	7.5
C4	0	0.0	0	0.0	1	0.4
D2	2	0.8	11	4.6	1	0.4
D3	1	0.4	24	10.0	14	5.8
D4	9	3.8	7	2.9	0	0.0
Total	240	100.0	240	100.0	240	100.0

χ^2 test $p < 0.0001$

for teeth vs PFM crowns (both chi-square test $p < 0.0001$). The measuring results of the colorimeter showed distinctly lighter shades than those of the spectrophotometer. The most frequently identified tooth and crown shade was within the shade group A (Vita Classical), regardless of the method utilized (Fig 2). In spite of the good reproducibility of color determination, the agreement rate of each digital device with the examiner group was shown to be lower than the examiners among each other (Fig 7).

Discussion

Owing to the technological advances in dentistry, attempts to eliminate the subjectivity of shade selection by utilizing computer-based instruments have infinite possibilities. It is proven that digital devices are, in principle, capable of determining tooth shades equal or even superior to human vision when measured in the laboratory.^{11,33-35} Attempts have

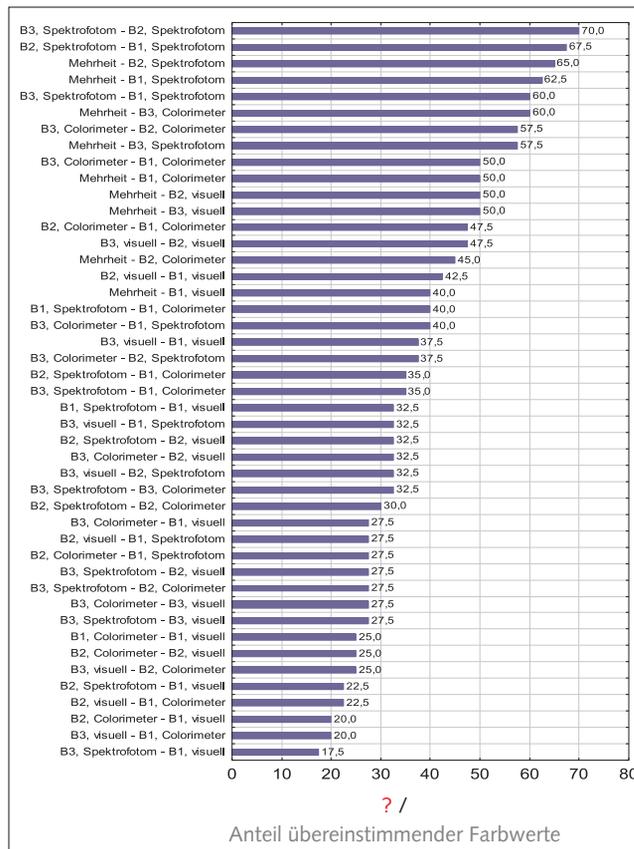


Fig 7 Agreement rate for all method combinations (B1 = dentist 1; B2 = dentist 2; B3 = dental technician 3).

Abb. 7 Übereinstimmungsquoten für alle Methodenkombinationen (B1 = Zahnarzt 1; B2 = Zahnarzt 2; B3 = Zahntechniker 3).

Diskussion

Den kontinuierlichen Fortschritten in der Dentaltechnik ist es zu verdanken, dass heute unendlich viele Möglichkeiten zur Verfügung stehen, um mit computergestützten Systemen die Subjektivität bei der Farbnahme zu beseitigen. Es ist erwiesen, dass sich Farben mit digitalen Systemen unter Laborbedingungen mindestens ebenso gut bestimmen lassen wie mit dem menschlichen Auge.^{11, 33–35} Um die Präzision der visuellen Farbmusterung zu verbessern, wurden komplexe Farbsysteme eingeführt, die den Behandler zu einer sicheren Auswahl hinsichtlich Charakteristik, Helligkeit und Intensität von

Spectrophotometer: Agreement of 1st and 2nd assessment independent of measuring object/ Spektrofotometer: Übereinstimmung zwischen 1. und 2. Messung, unabhängig von Messobjekten (Zähne/Kronen)																	
Measuring 1/ Messung 1	A1	A2	A3	A3.5	A4	B1	B2	B3	B4	C1	C2	C3	C4	D2	D3	D4	Total/ Gesamt
A1	37	5	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	44
A2	6	74	2	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	85
A3	0	2	51	1	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	57
A3.5	0	0	0	16	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	19
A4	0	0	0	0	17	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	18
B1	1	0	0	0	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9
B2	0	2	0	0	0	1	19	0	0	0	0	0	0	1	0	0	23
B3	0	0	2	2	0	0	0	12	1	0	0	0	0	0	0	0	17
B4	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	6
C1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	13	0	0	0	0	1	0	15
C2	0	3	5	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	13
C3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	11	1	0	0	0	14
C4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
D2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	5	1	0	7
D3	0	5	1	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	1	13	0	24
D4	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	9
Total	44	92	62	20	18	11	19	13	8	17	13	13	1	7	15	7	360

Table 9 Correlation between first and second shade assessment with spectrophotometer independent of measuring object. Results indicated that the agreement between the first and second measurement was 81.7 % (294 of 360 highlighted in blue; coefficient of contingency = 0.98; χ^2 test $p = 0.99$).

Tab. 9 Korrelation zwischen erster und zweiter Farbbestimmung mit Spektrofotometer, unabhängig von Messobjekten. Die Ergebnisse zeigen 81,7 % Übereinstimmung zwischen den ersten und zweiten Messungen (294 von 360, blau hervorgehoben; Kontingenzkoeffizient = 0,98; χ^2 -Test: $p = 0,99$).

Spectrophotometer: Agreement of 1st and 2nd assessment for teeth (region 11)/ Spektrofotometer: Übereinstimmung zwischen 1. und 2. Messung, basierend auf natürlichen Zähnen (Regio 11)																	
Measuring 1/ Messung 1	A1	A2	A3	A3.5	A4	B1	B2	B3	B4	C1	C2	C3	C4	D2	D3	D4	Total/ Gesamt
A1	24	4	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	29
A2	6	49	2	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	60
A3	0	2	17	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	21
A3.5	0	0	0	8	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9
A4	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	3
B1	1	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4
B2	0	1	0	0	0	1	8	0	0	0	0	0	0	1	0	0	11
B3	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
B4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	1	0	8
C2	0	2	3	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	6
C3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	3	1	0	0	0	6
C4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
D2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	5	1	0	7
D3	0	5	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	7	0	15
D4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	31	64	23	9	3	5	8	0	1	10	5	4	1	7	9	0	180

Table 10 Correlation between first and second shade assessment with spectrophotometer for teeth in region 11. Results indicated that the agreement between the first and second measurement was 73.9 % (133 of 180 highlighted in blue; coefficient of contingency = 0.97; χ^2 test $p = 0.99$).

Tab. 10 Korrelation zwischen erster und zweiter Farbbestimmung mit Spektrofotometer für natürliche Zähne in Regio 11. Die Ergebnisse zeigen 73,9 % Übereinstimmung zwischen den ersten und zweiten Messungen (133 von 180, blau hervorgehoben; Kontingenzkoeffizient = 0,97; χ^2 -Test: $p = 0,99$).

Spectrophotometer:
Agreement of 1st and 2nd assessment for PFM crowns (region 11)/
Spektrofotometer:
Übereinstimmung zwischen 1. und 2. Messung, basierend auf Metallkeramikronen (Regio 11)

Measuring 1/ Messung 1	A1	A2	A3	A3.5	A4	B1	B2	B3	B4	C1	C2	C3	C4	D2	D3	D4	Total/ Gesamt
A1	13	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15
A2	0	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25
A3	0	0	34	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	36
A3.5	0	0	0	8	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	10
A4	0	0	0	0	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15
B1	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5
B2	0	1	0	0	0	0	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12
B3	0	0	2	2	0	0	0	12	0	0	0	0	0	0	0	0	16
B4	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	6
C1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	0	0	0	0	0	0	7
C2	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	7
C3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	0	0	0	0	8
C4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
D2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
D3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	6	0	9
D4	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	9
Total	13	28	39	11	15	6	11	13	7	7	8	9	0	0	6	7	180

Table 11 Correlation between first and second shade assessment with spectrophotometer for implant-supported PFM crowns in region 11. Results indicated that the agreement between the first and second measurement was 89.4 % (161 of 180 highlighted in blue; coefficient of contingency = 0.99; χ^2 test $p = 1$).

Tab. 11 Korrelation zwischen erster und zweiter Farbbestimmung mit Spektrofotometer für implantatgetragene Metallkeramikronen in Regio 11. Die Ergebnisse zeigen 89,4 % Übereinstimmung zwischen den ersten und zweiten Messungen (161 von 180, blau hervorgehoben; Kontingenzkoeffizient = 0,99; χ^2 -Test: $p = 1$).

Table 12 General agreement between 1st and 2nd readings of digital shade selection devices according to parameter of interest.

Tab. 12 Allgemeine Übereinstimmung zwischen den ersten und zweiten Messungen mit den digitalen Farbnahmesystemen je nach Parameter.

Agreement (%) / Übereinstimmung	N	Colorimeter/ Kolorimeter	Spectrophotometer/ Spektrofotometer
Total	360	70.0%	81.7%
Teeth	180	66.1%	73.9%
PFM crowns	180	73.9%	89.4%
Incisal	120	78.3%	86.7%
Middle	120	66.7%	80.0%
Cervical	120	65.0%	78.3%
Examiner 1 (D1)	120	70.0%	77.5%
Examiner 2 (D2)	120	72.5%	89.2%
Examiner 3 (T3)	120	67.5%	78.3%

been made to enhance the accuracy of visual color selection by introducing a comprehensive shade guide and leading the examiner to a better understanding of primary shade characteristics, value and chroma. The shade matching ability of the Vita 3D-Master Tooth Guide (Vita Zahnfabrik),

Farbe führen sollen. So zeigte sich zum Beispiel, dass das Vita 3-D-Master-System (Vita Zahnfabrik) eine höhere Genauigkeit in der Bestimmung und Reproduktion von Zahnfarbe aufweist.³⁷ Während das Vita Classic-System eine große Akzeptanz bei den Anwendern hinsichtlich der Farbauswahl gefunden hat, ist das Vita 3-D-Master-System noch immer wenig verbreitet. In der vorliegenden Studie wurde daher versucht, die konventionelle Methode der visuellen Farbnahme durch das Vita Classic-System, mit den computergestützten Methoden in vivo zu vergleichen. Die klinischen Resultate zeigen erhebliche Schwankungen zwischen den Farbbestimmungen durch einzelne Begutachter und den digitalen Messungen. Allerdings erbrachte das Spektrofotometer die höchsten Übereinstimmungsquoten zwischen den konsekutiven Messungen. Somit waren die Ergebnisse mit dieser Methode deutlich besser reproduzierbar. Das Design der vorliegenden Studie berücksichtigt die Reproduzierbarkeit von Farbwerten, die mit dem Spektrofotometer und Kolorimeter ermittelt wurden. Eine Aussage zur generellen Farbgenauigkeit des einzelnen digitalen Systems kann daraus jedoch nicht abgeleitet werden. Daher kann trotz hoher Reproduzierbarkeit der digitalen Werte auch ein „falscher“ Farbwert reproduziert wer-

den. Der Anteil an Falschmessungen betrug mit dem Spektrofotometer 18% und mit dem Kolorimeter 30%. Dies zeigt, dass auch die computergestützte Datenerfassung nicht frei von Fehlern ist. Mögliche Gründe hierfür können eine falsche Ausrichtung des optischen Gerätes oder eine schlechte Qualität des einfallenden Lichtes, ein ungünstiger Einfallswinkel oder Interferenzen durch externe Lichtquellen sein. Auch Glanz und Fluoreszenz der Zähne und Kronen könnten eine Rolle spielen. Digitale Farbnahmesysteme sind zur Messung von flachen Oberflächen konzipiert. Zahnoberflächen müssen jedoch nicht immer flach sein und können Anomalien aufweisen. Größe und Textur könnten ebenfalls schwankende Ergebnisse bei computergestützten Messungen bewirken. Fehler können auch durch Kontrastschwächen entstehen, wenn Licht von einer glänzenden Oberfläche reflektiert wird und direkt auf das Messobjekt einstrahlt.³⁶ Bei den ermittelten Farbunterschieden zwischen Zähnen und Metallkeramikronen könnten Blendeffekte wirksam gewesen sein. Folglich sollte die digitale Farbbestimmung stets mit einer visuellen Farbkontrolle einhergehen, damit alle notwendigen Informationen für ein zuverlässiges Ergebnis vorliegen. Mit der konventionellen Methode der visuellen Farbnahme lassen sich Zahnfarben bis zu einem gewissen Grad reproduzieren. Trotzdem ermöglichen die heutigen Methoden der digitalen Farbanalyse besser reproduzierbare und genauere Farbmessungen. Einschränkend ist hinzuzufügen, dass digitale Farbmessgeräte aufgrund ihrer Größe nur in der „ästhetischen Zone“, nicht aber im Seitenzahnbereich anwendbar sind.

Schlussfolgerung

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie zeigen, dass die spektrofotometrische Farbbestimmung von Zähnen und Kronen besser reproduzierbare Ergebnisse liefert als die konventionelle Methode der visuellen Farbnahme. Sie kann damit als zuverlässige Ergänzung zur Farbabgleichung herangezogen werden. Für die Herstellung von Zahnersatz ist diese präzise Erfassung, Übermittlung und Interpretation von Farben ein Gewinn. Besonders nützlich ist die digitale Farbbestimmung für Zahnärzte, die selbst Schwierigkeiten mit der visuellen Farbnahme haben.

IJCD

for example, was found to be more reliable than that of the Vita Classical Shade Guide.³⁷ Nevertheless, the Vita Classical Guide received a widespread acceptance in color determination, while the Vita 3-D Master is yet less frequently used. Therefore, in the present study an attempt was made to compare and evaluate the conventional visual assessment with the Vita Classical guide and computer-based analysis in shade matching in vivo.

The clinical results indicate that there is significant variation in the shade selection by the individual examiners and the digital readings. However, the spectrophotometer used in the present study showed the highest rates of agreement between two consecutive readings and therefore displayed a distinctly superior rate of reproducibility. The current study was designed to test the reliability and reproducibility of a spectrophotometer and colorimeter, not the accuracy of each system in general. Therefore, no conclusions can be drawn from the quality of the values with respect to the “right shade”. The level of erroneous measurements found in the present study (spectrophotometer 18%; colorimeter 30%) indicate that even computerized data collection is subject to errors. Possible reasons for these errors could be misalignment of the optical device, poor quality and angle of incident light, external light sources as source of irritation, as well as gloss and fluorescence of the tooth or crown. While the digital instruments are designed to measure flat surfaces, teeth are often not flat and may have surface anomalies. The surface area and texture of a tooth or PFM crown could create variations in computer-aided shade selection. Direct illumination from a light reflected from a glossy surface can reduce contrast and therefore cause errors in color matching.³⁶ Glare may have played a role in the recorded difference of color determination on teeth and PFM crowns in the pre-sent evaluation. Consequently, digital shade determination should always be accompanied by visual control, in order to obtain the adequate information required for predictable shade matching. While conventional shade selection procedures have enabled a degree of shade transfer, contemporary digital shade analysis devices allow for a more standardized, repeatable shade determination and increased accuracy. A limiting factor of digital shade capture is the inability to use this technique on posterior teeth and its restriction to the “esthetic zone”.

Conclusion

The results of the present study suggest that spectrophotometric shade determination is more reproducible compared to conventional visual shade assessment. It can serve as a reliable addition in color matching and enhances the level of shade analysis, communication, interpretation, and fabrication of dental restorations. Digital color matching is particularly useful for practitioners who have difficulty with shade determination.

IJCD

References

1. Garber DA, Salama MA. The aesthetic smile: diagnosis and treatment. *Periodontol 2000* 1996;11:18-28.
2. Gracis S, Fradeani M, Celletti R, Bracchetti G. Biological integration of aesthetic restorations: factors influencing appearance and long-term success. *Periodontol 2000* 2001;27:29-44.
3. Chiche GJ, Pinault A. Esthetics of anterior fixed prosthodontics. Text-book. Chicago: Quintessence, 1994:13-31.
4. Clark EB. The color problem in dentistry. *Dent Digest* 1931;499-509.
5. Exosite E. Color perception and the color of teeth. *Dent Labor (Munch)* 1977;25:1836-1840.
6. Hall NR. Tooth colour selection: the application of colour science to dental colour matching. *Aust Prosthodont* 1991;5:41-46.
7. Jahangiri L, Reinhardt SB, Mehra RV, Matheson PB. Relationship between tooth shade value and skin color: an observational study. *J Prosthet Dent* 2002;87:149-152.
8. Leon JM. Shade selection - the art and science of color matching. *Quintessence Int* 1982;13:851-859.
9. Miller L. Organizing color in dentistry. *J Am Dent Assoc* 1987;115:26-40.
10. Miller L. Shade matching. *J Esthet Dent* 1993;5:143-153.
11. O'Brien WJ, Hemmendinger H, Boenke KM, Linger JB, Groh CL. Color distribution of three regions of extracted human teeth. *Dent Mater* 1997;13:179-185.
12. Hasegawa A, Ikeda I, Kawaguchi S. Color and translucency of in vivo natural central incisors. *J Prosthet Dent* 2000;83:418-423.
13. Saleski CG. Color, light, and shade matching. *J Prosthet Dent* 1972;27:263-268.
14. Wyszecki G, Stiles WS. Color Science concepts and methods, quantitative data and formulae, ed 2. New York: Wiley, 1982:83-116.
15. Culpepper WD. A comparative study of shade-matching procedures. *J Prosthet Dent* 1970;24:166-173.
16. Sproull RC. Color matching in dentistry. Part I. The three-dimensional nature of color. *J Prosthet Dent* 1973;86:453-457.
17. Sproull RC. Color matching in dentistry. Part II. Practical applications of the organization of color. *J Prosthet Dent* 1973;86:458-464.
18. Sproull RC. Color matching in Dentistry. Part III. Color control. *J Prosthet Dent* 1974;31:146-154.
19. Barna GJ, Taylor JW, King GE, Pelleu GB Jr. The influence of selected light intensities on color perception within the color range of natural teeth. *J Prosthet Dent* 1981;46:450-453.
20. Bäurle T. Effect of light on shade selection. *Quintessence Int* 1982;10:1115-1121.
21. Chu SJ. Precision shade technology: contemporary strategies in shade selection. *Pract Proced Aesthet Dent* 2002;14:79-83.
22. Pensler AV. Shade selection: problems and solutions. *Compend Contin Educ Dent* 1998;19:387-396.
23. Seghi RR, Hewlett ER, Kim J. Visual and instrumental colorimetric assesment of small color differences on translucent dental porcelain. *J Dent Res* 1989;68:1760-1764.
24. Derbabian K, Marzola R, Donovan TE, Arcidiacono A. The science of communicating the art of esthetic dentistry. Part III: precise shade communication. *J Esthet Restor Dent* 2001;13:154-162.
25. Geary JL, Kinirons MJ. Use of a common shade guide to test the perception of differences in the shades and value by members of the dental team. *Prim Dent Care* 1999;6:107-110.
26. Hammad IA. Intrarater repeatability of shade selections with two shade guides. *J Prosthet Dent* 2003;89:50-53.
27. O'Brien, WJ, Boenke KM, Groh CL. Coverage errors of two shade guides. *Int J Prosthodont* 1991;4:45-50.
28. Bayindir F, Kuo S, Johnston WM, Wee AG. Coverage error of three conceptually different shade guide systems to vital unrestored dentition. *J Prosthet Dent* 2007;98:175-185.
29. Paul S, Peter A, Pietrobon N, Hämmerle CH. Visual and spectrophotometric shade analysis of human teeth. *J Dent Res* 2002;81:578-582.
30. Hugo B. Comparison of in vivo visual and computer-aided tooth shade determination. *Clin Oral Invest* 2005;9:244-250.

31. Ishikawa-Nagai S, Ishibashi K, Tsuruta O, Weber HP. Reproducibility of tooth color gradation using a computer color-matching technique applied to ceramic restorations. *J Prosthet Dent* 2005;93:129-137.
32. Chu SJ, Tarnow DP. Digital shade analysis and verification: a case report and discussion. *Pract Proced Aesthet Dent* 2001;13:129-136.
33. Goldstein GR, Schmitt GW. Repeatability of a specially designed intraoral colorimeter. *J Prosthet Dent* 1993;69:616-619.
34. Horn DJ, Bulan-Brady J, Hicks ML. Sphere spectrophotometer versus human evaluation of tooth shade. *J Endod* 1998;24:786-790.
35. Macentee M, Lakowski R. Instrumental colour measurement of vital and extracted human teeth. *J Oral Rehabil* 1981;8:203-208.
36. Barna GJ, Taylor JW, King GE, Pelleu GB Jr. The influence of selected light intensities on color perception within the color range of natural teeth. *J Prosthet Dent* 1981;46:450-453.
37. Corciolani G, Vichi A, Goracci C, Ferrari M. Colour correspondence of a ceramic system in two different shade guides. *J Dent* 2009;37:98-101.

Address/Adresse: Dr. med. dent. Peter Gehrke, Bismarckstr. 27, 67059 Ludwigshafen, Germany
 Tel: +49-621-68-12-44-44, E-Mail: dr-gehrke@prof-dhom.de



Peter U. Gehrke

1991: Completion of graduate studies at the University of Berlin, School of Dental Medicine, in Germany

1992: Degree as Dr. med. Dent, license to practice dentistry

After 1992: Postgraduate specialities in Prosthodontics and Implant Dentistry in Germany, Award of the Schering Pharmaceutical Industries Scholarship.

Graduation from New York University College of Dentistry with international postdoctoral training in the Division of Restorative and Prosthodontic Sciences Department of Implant Dentistry.

International marketing manager and senior manager in medical marketing in the implant industry

Associate of a private practice limited to implant dentistry and oral surgery

Part-time member of the faculty at the Steinbeis University, Berlin, Germany in the program "Master of Science in Oral Implantology".

Practices in Germany and the USA.

Peter U. Gehrke

1991: Abschluss des Studiums der Zahnmedizin an der Klinik für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde, Freie Universität, Berlin

1992: Promotion zum Dr. med. dent., Approbation als Zahnarzt

Ab 1992: postgraduelle Ausbildung in Prothetik und zahnärztlicher Implantologie, Stipendium der Schering AG, Pharmaceutical Industries

Postdoktorale Ausbildung an der Abteilung für zahnärztliche Implantologie, Bereich restaurative Zahnmedizin und Prothetik, University College of Dentistry, New York
 Tätigkeit als internationaler Marketing Manager und Senior Manager Medical Marketing in der Implantatindustrie

Praktiziert in Deutschland und den USA

Nebenberufliche Lehrkraft im Studiengang Master of Science in Oral Implantology, Steinbeis-Hochschule, Berlin.