

Aus der Abteilung für Zahnärztliche Prothetik und Werkstoffkunde
der Universitätsmedizin der Johannes Gutenberg-Universität Mainz

**Evaluation des Einflusses der Positionierung von Farbmustern auf die
Reproduzierbarkeit des Ergebnisses im Rahmen der dentalen Farbnahme**

Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades der
Zahnmedizin

der Universitätsmedizin
der Johannes Gutenberg-Universität Mainz
vorgelegt von

Simon Junker
aus Stuttgart

Mainz, 2021

Wissenschaftlicher
Vorstand:

1. Gutachter:

2. Gutachter:

Tag der Promotion: 6. Juli 2021

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	V
1. Einleitung.....	1
2. Literaturübersicht.....	3
2.1 Farbenlehre	3
2.2 Physiologie und Anatomie des Sehorgans.....	6
2.3 Farbräume - die Grundlage der dentalen Farbnahme.....	8
2.3.1 Das Munsell-Color-System.....	8
2.3.2 CIEL*a*b*-Farbraum	10
3. Farbe in der Zahnmedizin	12
3.1 Zahnfarbbestimmung	12
3.1.1 Visuelle Zahnfarbbestimmung.....	12
3.1.2 Instrumentelle Zahnfarbbestimmung.....	14
3.3 Einflussfaktoren auf die Farbbestimmung.....	15
3.3.1 Betrachter abhängige Faktoren.....	15
3.3.2 Umgebungsfaktoren	17
4. Material und Methode.....	20
4.1 Materialliste	20
4.2. Farbskalen.....	23
4.2.1 VITA classical Farbskala A1-D4®	23
4.2.2 VITA Toothguide 3D-MASTER®.....	24
4.3 Farbmessgerät	25
4.3.1 VITA Easyshade® V	25
4.4 Messobjekte	26
4.5 Probanden.....	26
4.6 Versuchsvorbereitungen und Versuchsbedingungen.....	27
4.7 Vorgehen bei der Farbbestimmung.....	28
4.7.1 Methode 1	29
4.7.2 Methode 2	29
4.7.3 Methode 3	30
4.7.4 Farbbestimmung der Zahnkronen mit dem VITA Easyshade® V	31
4.7 Auswertung und Statistik.....	34

5. Ergebnisse der visuellen Farbbestimmung	36
5.1 Vergleich der Reproduzierbarkeit zwischen den Methoden	36
5.2 Vergleich der Reproduzierbarkeit bezogen auf das Geschlecht	37
5.2.1 Vergleich der Reproduzierbarkeit nach Geschlecht und Methoden	37
5.3 Vergleich der Reproduzierbarkeit bezogen auf das Alter	39
5.3.1 Vergleich der Reproduzierbarkeit nach Alter und Methoden	39
5.4 Vergleich der Reproduzierbarkeit bezogen auf die Berufserfahrung	41
5.4.1 Vergleich der Reproduzierbarkeit nach Berufserfahrung und Methoden	42
5.5 Vergleich der Reproduzierbarkeit nach Berufserfahrung und Alter	44
5.6 Vergleich der Reproduzierbarkeit nach Kronenfarbe	46
5.7 Vergleich der Reproduzierbarkeit nach Kronenfarbe und Methode	47
5.8 Ergebnisse der instrumentellen Messung mit dem VITA Easyshade V®	49
6. Diskussion	50
6.1 Diskussion der Methodik	50
6.2 Diskussion der Ergebnisse	55
6.2.1 Reproduzierbarkeit der visuellen Farbbestimmung	55
6.2.2 Diskussion der Farbskalen	57
6.2.3 Einfluss des Geschlechts, des Alters und der Berufserfahrung	59
6.2.4 Einfluss der Kronenfarbe	63
6.2.5 Instrumentelle Farbbestimmung	64
7. Zusammenfassung	66
8. Literaturverzeichnis	69
9. Abbildungsverzeichnis	75
10. Anhang	77
Danksagung	82
Lebenslauf	83

Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
ADA	American Dental Association
z.B.	zum Beispiel
Lx	Lux
K	Kelvin
CIE	Commission Internationale de l'Éclairage
m	Meter
mm	Millimeter
nm	Nanometer
d.h.	das heißt
ca.	circa
%	Prozent

1. Einleitung

Die Zahnfarbbestimmung ist ein essentieller Bestandteil der zahnärztlichen prothetischen und konservierenden Behandlung. Sie ist ein Arbeitsschritt von vielen, die maßgeblich zum Erfolg der prothetischen Versorgung beiträgt. Insofern stellt die Zahnfarbbestimmung ein wichtiges Qualitätsmerkmal dar. In der alltäglichen Praxis werden Zahnärzte häufig damit konfrontiert, dass Patienten mit der Ästhetik der prothetischen Restauration unzufrieden sind [1], dadurch ist es häufig notwendig die gesamte Restauration neu anfertigen zu lassen [2]. Der wirtschaftliche Mehraufwand für zahntechnische Laboratorien, die Farbkorrekturen durchführen mussten, betrug im Jahr 2010 durchschnittlich 1057,59 Euro pro Monat [3]. Bei etwa 8000 Dentallaboren in Deutschland ist dies ein hoher Millionenbetrag pro Jahr. Bei der Auswahl der Zahnfarbe spielen neben der gegebenenfalls vorhandenen Farbempfindungsstörung unterschiedliche Faktoren eine sehr wichtige Rolle im Zuge von Misserfolgen [4]. Viele subjektive und objektive Kriterien beeinträchtigen die Farbauswahl, was zu unbefriedigenden Ergebnissen führen kann [5, 6]. Hierbei spielen betrachterabhängige Faktoren, aber auch die Umgebung und die Lichtverhältnisse bei der Farbauswahl eine wichtige Rolle. Um eine verlässliche visuelle Farbbestimmung durchführen zu können, wurden bereits diverse Farbskalen miteinander verglichen [7-9], wobei unter anderem das Alter und das Geschlecht des Betrachters untersucht wurden [10-12], bzw. der Einfluss der Erfahrung des Untersuchenden auf die Farbauswahl evaluiert wurde [11, 12]. Des Weiteren wurden Studien durchgeführt, die den Einfluss der Lichtquelle, der Polarisation und des Trainings bei der Farbbestimmung dokumentierten [13]. Um die Zahnfarbe im klinischen Alltag verlässlich bestimmen zu können, werden sogenannte Farbmusterskalen verwendet [14]. Hierbei hat sich gezeigt, dass der Betrachter die besten Ergebnisse erzielt, indem er das mittlere Drittel der Zahnoberfläche farblich bestimmt [15, 16]. Dabei wurde bisher unter Berücksichtigung der aktuellen Literatur ein zentraler Einflussfaktor bei der visuellen Zahnfarbbestimmung aus wissenschaftlicher Sicht noch nicht evaluiert, nämlich der Einfluss der Positionierung von Farbmustern auf die Reproduzierbarkeit des Ergebnisses.

Hypothese:

Die Positionierung von Farbmustern hat einen Einfluss auf die Reproduzierbarkeit des Ergebnisses im Rahmen der dentalen Farbnahme.

Das Ziel der hier vorliegenden Untersuchung ist der Vergleich der Reproduzierbarkeit bei drei unterschiedlichen visuellen Farbmusterungsmethoden. Die Ergebnisse der visuellen Farbenbestimmung werden anschließend einer elektronischen Messung gegenübergestellt. Die folgende Abbildung gibt einen Überblick über den Versuchsablauf (Abb. 1).

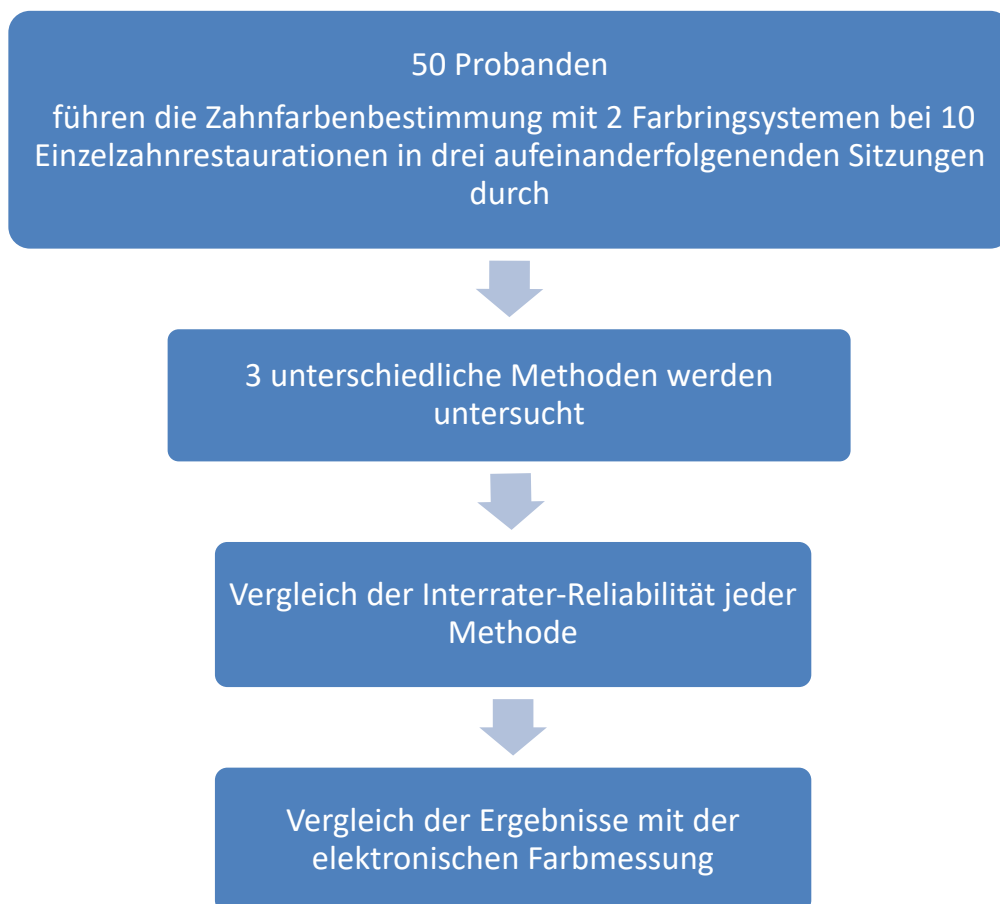


Abbildung 1: Überblick über den Versuchsablauf.

2. Literaturübersicht

2.1 Farbenlehre

Um feststellen zu können welche Farbe ein Objekt hat müssen drei elementare Faktoren vorhanden sein: Ein Objekt, ein Betrachter und Licht. Wenn auch nur eines dieser Faktoren fehlt, ist Farbe, wie wir sie verstehen, nicht existent. Der Betrachter kann ein Mensch, aber auch ein elektronisches Messgerät sein. Die Farbwahrnehmung wird von sehr vielen Faktoren wie dem Alter, dem Geschlecht und den Umgebungsbedingungen beeinflusst (siehe Kapitel 3.3). Wenn Menschen Farben betrachten, sind diese meist mit Emotionen belegt, außerdem unterscheiden sich Menschen auch in der Hinsicht wie sie farbige Objekte mit Worten beschreiben [17, 18]. Um Farben objektiver zu machen, um die Kommunikation von Farben zu erleichtern und die Farbbestimmung präziser durchführen zu können, muss man Farben aus wissenschaftlicher Sicht betrachten.

Der erste der dies tat war Isaac Newton, indem er das Licht physikalisch untersuchte. Er erkannte, dass ein Lichtstrahl, der durch ein Prisma geleitet, aufgeteilt und in verschiedene Wellenlängen zerlegt wird. Die Reihenfolge der unterschiedlich auftretenden Farben nannte er Spektrum [19].

Das sichtbare Licht ist Teil der elektromagnetischen Strahlung zu dem auch Röntgenstrahlen und Radiowellen gehören. Die Einheit, mit der die sichtbaren Wellenlängen gemessen werden, heißt Nanometer (nm), der millionste Teil eines Millimeters. Eine Wellenlänge definiert sich als Abstand von zwei aufeinanderfolgenden Wellentälern, je größer die Wellenlänge ist umso geringer ist die Strahlungsleistung und umgekehrt. Das für den Menschen wahrnehmbare Farbspektrum reicht von 380nm bis 750nm [18], dieses in Abbildung 3 veranschaulichte Wellenlängenband deckt nur einen sehr schmalen Bereich der elektromagnetischen Strahlung ab. Die genaue Zusammensetzung des sichtbaren Lichtspektrums ist in Abbildung 2 aufgeführt. Keine Lichtquelle kann reines weißes Licht ausstrahlen, das bedeutet, dass die Anteile der verschiedenen ausgestrahlten Farbspektren immer unterschiedlich sind. Dadurch erscheint die Farbe eines Objekts, das mit verschiedenen Lichtquellen betrachtet wird, unterschiedlich.

Farbe	Wellenlänge (nm)
Violett	380-439
Indigo	440-459
Blau	460-489
Grün	490-539
Gelb	550-589
Orange	590-649
Rot	650-750

Abbildung 2: Übersicht über die Wellenlängen des sichtbaren Bereichs [19].

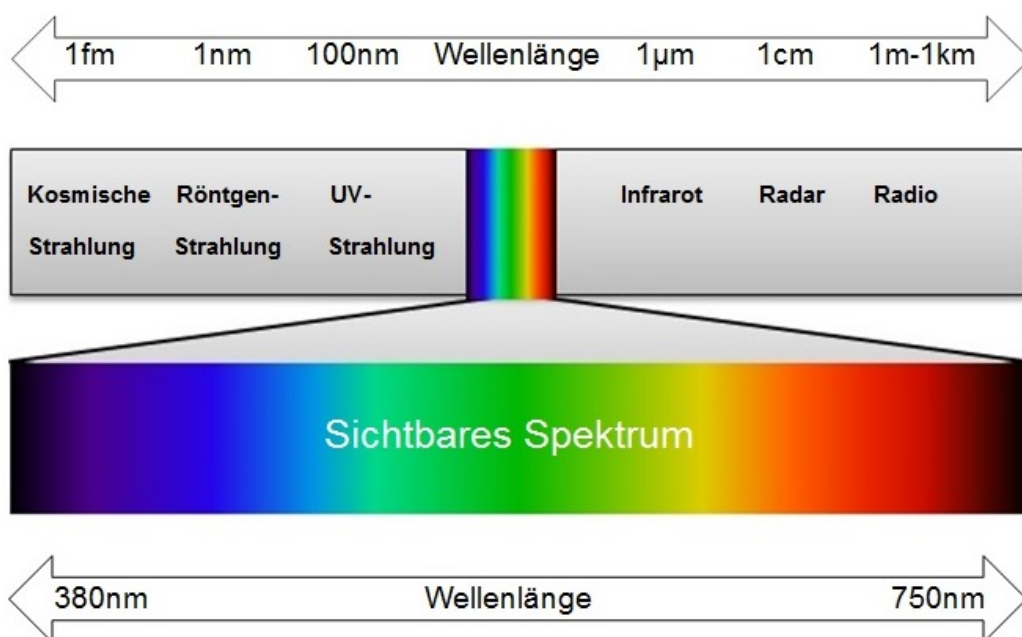


Abbildung 3: Das sichtbare Spektrum und seine Beziehung zu den anderen Arten der elektromagnetischen Strahlung (nicht maßstabsgerecht) [19].

Licht, das auf ein Objekt fällt, kann in unterschiedlicher Weise mit diesem interagieren. Die Lichtstrahlen können den Körper durchdringen (transmittieren), von

ihm verschluckt (absorbiert), reflektiert oder gestreut werden. Der Grund für diese Phänomene ist die Geschwindigkeitsänderung der Lichtwellen beim Wechsel in ein anderes Medium. Im Vakuum und auch annähernd in der Luft breitet sich die sichtbare elektromagnetische Strahlung mit einer Geschwindigkeit von ca. 300.000km pro Sekunde aus. Trifft der Stahl beispielsweise auf eine Fensterscheibe, wird dieser abgebremst, abgelenkt und ein Teil von ihm reflektiert. Die Abbremsung vom Übergang in ein anderes Medium wird mit der Hilfe des Brechungsindex n berechnet. Er gibt an, wie stark sich die Lichtgeschwindigkeit im Medium c_M relativ zur Lichtgeschwindigkeit im Vakuum c_0 ändert: $n = \frac{c_0}{c_M}$. Im Vakuum ist der Brechungsindex exakt 1, in der Luft nahezu 1. Eine Fensterscheibe hat den Brechungsindex von 1,5 [20], somit beträgt die Lichtgeschwindigkeit in der Glasscheibe 200000km pro Sekunde. Ein Lichtstrahl ändert in Abhängigkeit des Brechungsindex und des Auftreffwinkels auf ein anderes Medium seine Richtung und wird teilweise reflektiert. Wenn das Licht im 90° Winkel auf ein farbloses transparentes Objekt trifft und dabei in fast unveränderter Richtung durchgelassen wird, spricht man von Transmission [18]. Reflexion tritt an Grenzstellen vom einem ins andere Medium auf und kann an spiegelgleichen Objekten fast das gesamte Lichtspektrum zurückwerfen. Vollkommen weiße Gegenstände würden alle Lichtfrequenzen reflektieren [19]. Ein grüner Gegenstand reflektiert demnach nur den Frequenzbereich von 490-539nm, alle anderen Frequenzen werden von dem Objekt absorbiert. Ein Teil der Strahlungsenergie wird dabei in Wärme umgewandelt, was auch im Sommer mit dunkler Kleidung und starkem Sonnenschein deutlich zu fühlen ist, dabei würde ein komplett schwarzes Objekt das gesamte Lichtspektrum absorbieren [19]. Wenn keine gerichtete, sondern eine diffuse Reflexion an trüben Objekten oder kleinen Partikeln stattfindet nennt man dies Streuung. Dieses Phänomen tritt unter anderem an Wasserdampfmolekülen in der Luft auf und lässt somit die Wolken weiß erscheinen. Die Eigenschaften eines Körpers in Bezug auf die Interaktion mit Lichtwellen werden wie folgt beschrieben: Bei einem transluzenten Objekt wird ein Großteil des Lichts durchgelassen und ein kleinerer Teil gestreut und reflektiert. Ist der Körper lichtundurchlässig, also wird die auftreffende Strahlung gestreut und ein kleiner Teil absorbiert wird er als opak bezeichnet. Wenn dieselbe Menge an Streuung bei jeder Frequenz auftritt und keine Absorption vorhanden ist, ist das Objekt weiß, ansonsten wird es farbig wahrgenommen [18].

2.2 Physiologie und Anatomie des Sehorgans

Das menschliche Auge wandelt in der Netzhaut (Retina) die eintreffende elektromagnetische Strahlung in physiologische Reize um, diese werden zum Gehirn weitergeleitet, interpretiert und dort als Farbe wahrgenommen. Eintreffende Lichtstrahlen durchqueren die transparente Cornea, die vordere (Camera anterior bulbi) und hintere Augenkammer (Camera posterior bulbi), werden an der beidseitig konvexen Sammellinse gebündelt, durch den aus 98 Prozent aus Wasser bestehenden Glaskörper geleitet (Corpus vitreum) und projizieren sich schließlich umgekehrt und spiegelverkehrt auf der Retina [21]. Der Strahlengang und den Aufbau des Auges im Querschnitt ist in Abbildung 4 ersichtlich.

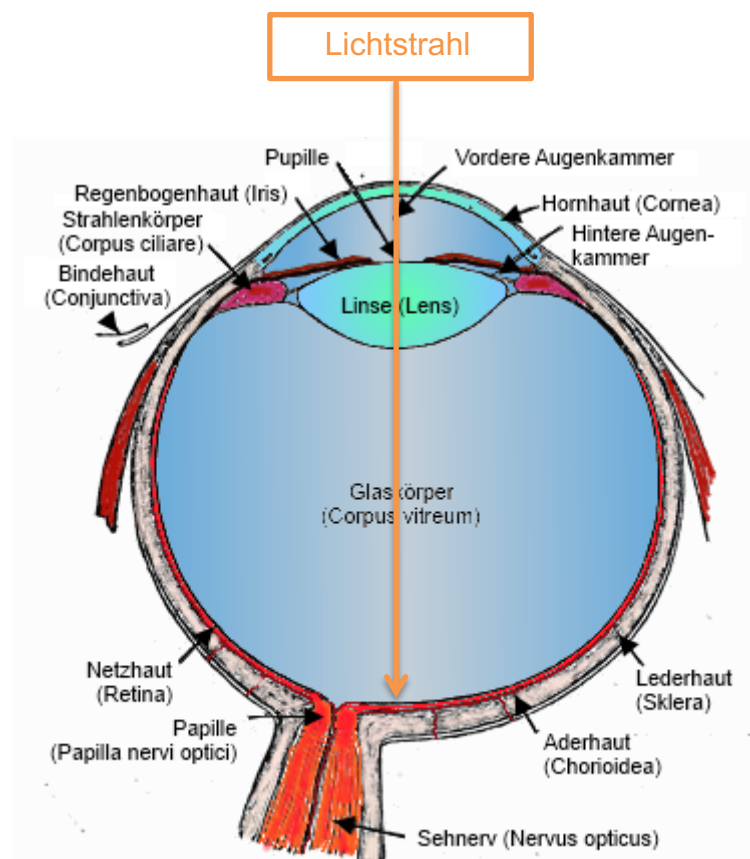


Abbildung 4: Schematischer Querschnitt durch das menschliche Auge [22].

Die Retina besitzt zwei Arten von Photorezeptoren (Lichtsinnzellen). Die Netzhaut eines Auges ist mit ca. sechs Millionen tageslichtempfindlicher Zapfenrezeptoren und ca. 120 Millionen dämmerungsempfindlicher Stäbchenrezeptoren ausgestattet [23]. Die Zapfenzellen dienen dem photopischem Sehen, also dem Farbsehen und sind

bei hellem Tageslicht aktiv. Im Bereich des schärfsten Sehens, der Sehgrube (Fovea centralis), ist die Dichte der Zapfenzellen mit etwa 150.000 pro Quadratmillimeter am höchsten und nimmt zur Netzhautperipherie hin deutlich ab. Der Mensch besitzt drei Zapfenarten mit jeweils unterschiedlichen Absorptionsmaxima für die Farben Rot (564nm), Grün (534nm) und Blau (420nm) [24]. Die Stäbchenzellen dienen dem skotopischem Sehen, dem Sehen bei schwacher Beleuchtung. Sie sind ca. tausendmal lichtempfindlicher als die Zapfen und können somit bei sehr wenig Licht Grauabstufungen wahrnehmen. Die erhöhte Empfindlichkeit rührt daher, dass ein einzelnes absorbiertes Photon (Lichtquant, Wechselwirkungsteilchen der elektromagnetischen Wechselwirkung) die Membranspannung des Photorezeptors ändert und es somit direkt zur Erregung der nachgeschalteten Zelle kommt. Im Bereich von 5-6mm um die Fovea centralis ist die Dichte der Stäbchen am höchsten, d.h. bei Dämmerung sieht man in der Peripherie besser als im Zentrum. Das Absorptionsmaximum der Stäbchenrezeptoren liegt bei einer Wellenlänge von 498nm im blaugrünen Bereich. Da es nur eine Art von Stäbchenzellen gibt, können mit ihnen somit auch keine Farben unterschieden werden.

2.3 Farbräume - die Grundlage der dentalen Farbnahme

2.3.1 Das Munsell-Color-System

Im Jahr 1915 entwickelte der amerikanische Maler **Albert Henry Munsell** ein Farbsystem in einem dreidimensionalen Farbraum. Hierbei unterteilte er die aufkommenden Farben in die evaluierbaren Messgrößen Hue (Farbton), Chroma (Sättigung) und Value (Wertigkeit, Helligkeit) [25]. Das Farbsystem ist nicht das älteste, aber das älteste noch verwendete Farbsystem.

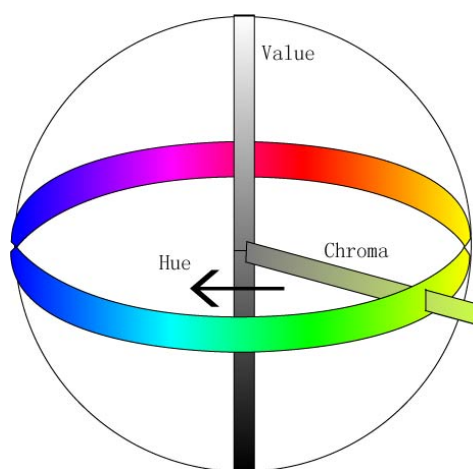


Abbildung 5: Dreidimensionale Darstellung der MUNSELL Farbsystems [26].

Die Farben verteilen sich wie in Abbildung 5 dargestellt. Die zentrale zylinderförmige Achse (Value) reicht von weiß bis schwarz und stellt den Helligkeitsgradienten dar. Dieser Zylinder kann in jeder Helligkeitsstufe in sphärische Scheiben unterteilt werden, die Scheiben nehmen von innen nach außen an Sättigung (Chroma) zu. Die Grundfarben, die sich um die Value-Achse befinden, kann man sich als parallelen Hohlzylinder vorstellen. Der Raum zwischen diesen Grundfarben wird mit Mischfarben im jeweiligen Mischungsverhältnis aufgefüllt [27]. So ergeben sich zehn Farben, die sich im gleichen Abstand zueinander auf dem Farbzylinder anordnen. Jede Farbe wird nochmals in zehn Segmente unterteilt, um somit genau das Mischungsverhältnis und damit die Position bestimmen zu können. In diesem Farbsystem werden dunklere Farben weiter unten, hellere weiter oben im Bereich des Zylinders abgebildet. Während sich sehr kräftige und intensive Farben im

äußeren Bereich befinden, sind die blässeren, weniger intensiven im Inneren Bereich zu finden.

Die Helligkeit einer Farbe bezieht sich auf den Grauteil der Farbe bezogen auf die Value-Achse. Ihnen werden Werte zwischen 0 [28] und 10 (Weiß) zugeteilt. In einem Schwarz-Weiß-Bild können gut die Helligkeitsstufen unterschieden werden, der Grauwert wird dann abgeglichen (Abb. 6). Die Sättigung (Chroma) entspricht der Menge eines Farbtons innerhalb der Farbe.



Abbildung 6: Exemplarische Darstellung der Helligkeitsstufen in der Schwarz-Weiß-Ansicht des VITA classical A1-D4[®] Farbsystems

Im Farbraum kann nun jede Farbe genau zugeordnet und kommuniziert werden. Die Angabe erfolgt in Farbton (Hue) Helligkeit (Value) und Sättigung (Chroma). Der Farbton wird mit arabischen Ziffern und Buchstaben dargestellt, z.B. 5GY, 2P. Der Helligkeits- und der Sättigungswert werden in Ziffern beschrieben und durch einen Schrägstrich voneinander getrennt, z.B. 5/7. Damit ist die Farbe 5GY 5/7 genau beschrieben als Farbe mit dem Farbton 5GY der Helligkeit 5 und der Sättigung von 7. Durch das Munsell-Color-System, wurde die Entwicklung der dentalen Farbskalen maßgeblich beeinflusst.

2.3.2 CIEL*a*b*-Farbraum

Die Internationale Beleuchtungskommission [29] hat das dreidimensionale CIEL*a*b*-System aus mehreren Vorstufen 1976 entwickelt und im Jahr 2014 modifiziert und erweitert. Es umfasst alle wahrnehmbaren Farben. Das Farbmodell ist seit Juli 2011 in der EN ISO 11664-4 „Farbmetrik – Teil 4: CIE 1976 L*a*b* Farbenraum“ genormt. Mit diesem Farbsystem ist eine freie, stufenlose Berechnung und Konvertierung von Farben möglich. Das bedeutet, dass jede Farbe mit ihren charakteristischen Eigenschaften objektiv eindeutig definiert werden kann [30]. Drei Achsen definieren in einem kartesischen Koordinatensystem die Raumebenen des Systems, indem sich für jede Farbe ein Farbort bestimmen lässt. Die Helligkeits-Achse steht dabei senkrecht auf der a*b*-Ebene, an ihr werden Werte zwischen 0 und 100 abgetragen [18]. Im Schnittpunkt der Helligkeitsachse und der Farbebene ist das farblose Grau (Mittelwert zwischen L*=0/schwarz und L*=100/weiß) lokalisiert. Auf der a*-Achse werden die Farben Rot (a*=+127) und Grün (a*=-128), auf der b*-Achse die Farben Blau (b*=-128) und Gelb (b*=+127) gegeneinander aufgetragen. Dadurch ergibt sich eine weltweit eindeutige Angabe der Farbe wie z.B.: L*a*b* 20 30 50. Wie in Abbildung 7 ersichtlich sind die Komplementärfarben auf den Achsen gegenübergestellt, und der räumliche Farbort dreidimensional dargestellt. Da man für jede Farbe im Koordinatensystem einen Ort definiert, kann man mit diesem System auch den Farbabstand Delta E zwischen zwei oder mehreren Farben messen. Der Abstand Delta E errechnet sich aus den Farborten $(L^*, a^*, b^*)_x$ und $(L^*, a^*, b^*)_y$ als euklidischer Abstand:

$$\Delta E_{x,y} = \sqrt{(L_x^* - L_y^*)^2 + (a_x^* - a_y^*)^2 + (b_x^* - b_y^*)^2}$$

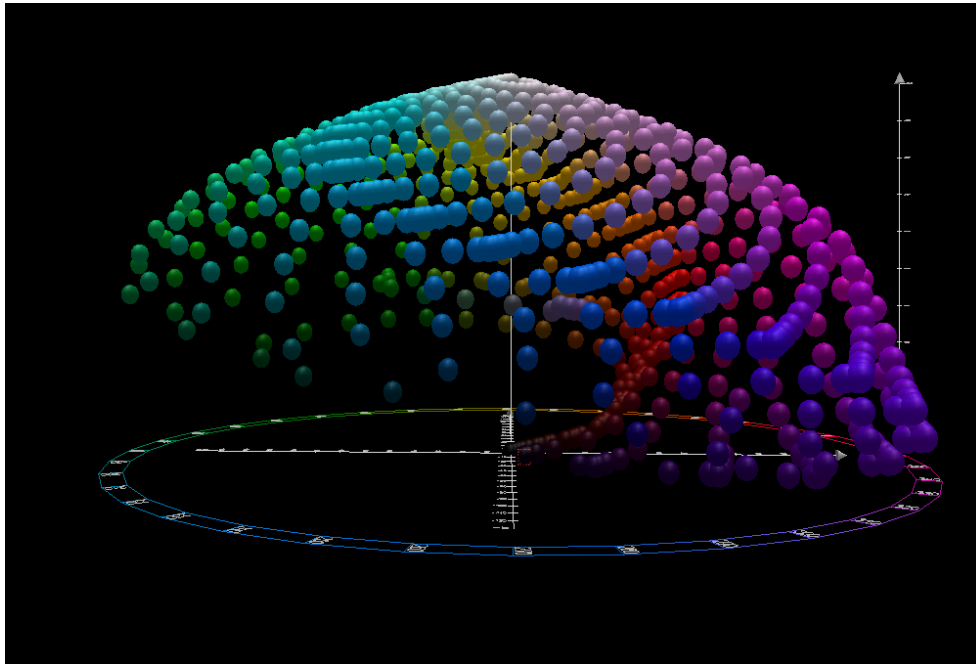


Abbildung 7: Schematischer dreidimensionaler Aufbau des CIE L*a*b* Farbraums. Die Helligkeitsachse mit dem Wert L=100 ist oben lokalisiert [31].

Die Zahlenwerte für Delta E werden wie folgt wahrgenommen (siehe Abb.8):

ΔE	Interpretation
0,0... < 0,5	nahezu unmerklich
0,5... < 1,0	für das geübte Auge bemerkbar
1,0... < 2,0	geringer Farbunterschied
2,0... < 4,0	deutlicher Farbunterschied
4,0... < 5,0	wesentlicher, selten tolerierter Farbunterschied
5,0...	die Differenz wird als andere Farbe bewertet

Abbildung 8: Interpretation von Zahlenwerten von Delta E.

Die Abstände der naheliegenden Farben sind nicht immer visuell gleichabständig, deshalb wurde durch komplizierte Modifikationen ΔE_{00} eingeführt. Seit dem Jahr 2014 ist ΔE_{00} in der Norm ISO/CIE 11664-6 festgelegt und wird von der CIE als Farbabstandsformel empfohlen.

3. Farbe in der Zahnmedizin

3.1 Zahnfarbbestimmung

Ein wesentlicher Anteil am Behandlungserfolg bei restaurativen und prothetischen zahnärztlichen Versorgungen stellt die exakte Zahnfarbenbestimmung dar. Zwei verschiedene Methoden werden heutzutage praktiziert. Die visuelle Zahnfarbbestimmung mit standardisiert hergestellten Farbmusterskalen ist die am häufigsten angewandte Methode [32]. Davon unterscheidet man die instrumentelle Farbbestimmung mittels optoelektrischen Farbmessgeräten. Diese Methode verspricht die Zahnfarbe umgebungsunabhängig und ohne interpretativen Spielraum bestimmen zu können [33, 34].

3.1.1 Visuelle Zahnfarbbestimmung

Die visuelle Zahnfarbbestimmung wird mit sogenannten Farbringen und Farbmusterstäbchen durchgeführt. Dabei werden die natürlich vorkommenden Zahnfarben auf wenige Farbmuster reduziert. Ein Farbring beinhaltet zwischen sechzehn und neunundzwanzig verschiedene Zahnfarbmuster, abhängig vom Hersteller und von dem jeweiligen System. Diese dienen der standardisierten Übertragung zwischen Zahnarzt und Zahntechniker. Verschiedene Farbringssysteme sind auf dem Markt erhältlich, welche jedoch häufig nicht standardisiert sind und sich entsprechend von Hersteller zu Hersteller unterscheiden können [30]. Es gibt zwei Arten von Farbskalen, die helligkeitsbasierten und die farbtonbasierten. Die farbtonbasierende Farbskala VITA classical A1-D4[®] (VITA Zahnfabrik H. Rauter GmbH & Co. KG, Bad Säckingen, Deutschland) wird weltweit am meisten genutzt [35, 36] und unterscheidet 16 verschiedene Farben. Eine weitere 29 Muster umfassende Farbskala ist die helligkeitsbasierte VITA Toothguide 3D-MASTER[®] (VITA Zahnfabrik H. Rauter GmbH & Co. KG, Bad Säckingen), die einen breiteren Farbbereich umfasst, eine gleichmäßigere Farbverteilung aufweist und dadurch besser auf natürliche Zähne abgestimmt ist [5, 37-42]. Außerdem erhältlich ist der farbtonbasierte Chromatiskop[®] (Ivoclar Vivadent AG, Schaan, Lichtenstein), der 20 Farben zur Auswahl bereithält. Bei der klinisch visuellen Zahnfarbbestimmung gilt es einige Faktoren zu beachten. Ein grauer Hintergrund ist einem farbigen vorzuziehen,

ebenso sollte eine Tageslichtleuchte verwendet werden. Im Idealfall ist die Lichtquelle so positioniert, dass die Lichtstrahlen in einem Winkel von ca. 45° zur Labialfläche des Zahns ausgerichtet sind, sodass Störung durch Lichtreflexe minimiert werden. Farbintensive Kleidung, Make-up und Lippenstift, sollten abgedeckt oder entfernt werden. Die Entfernung des Betrachters sollte ca. 0,5- 0,7m betragen [43], nach etwa 5-7 Sekunden Betrachtungszeit ist der Abmusterungsprozess für 10 Sekunden zu unterbrechen, um einer Ermüdung vorzubeugen [44].

Da visuelle Farbskalen nur eine begrenzte Anzahl an Farbmustern aufweisen, können verständlicherweise nicht alle 6000 Farbnuancen eines natürlichen Zahns erfasst werden [45]. Das menschliche Auge erkennt jedoch selbst kleine Farbunterschiede zwischen zwei Objekten sehr effizient [32, 34]. Ein Betrachter kann sich an bis zu 300 verschiedene Farben erinnern und etwa 5-10 Millionen Farben im direkten Vergleich differenzieren [46]. Trotzdem bleibt die Farbbestimmung natürlicher Zähne und die anschließende Verwendung dieser Informationen für die Herstellung von künstlichem Zahnersatz eine große Herausforderung für Zahntechniker und Zahnärzte [27, 47-51].

Die Bestimmung der Zahnfarbe mit visuellen Mitteln wird als sehr subjektiv angesehen, da Einflussfaktoren wie äußere Lichtverhältnisse, Erfahrung, Alter und Ermüdung des menschlichen Auges zu Inkonsistenzen führen [46, 52, 53]. Außerdem ist die visuelle Auswahl der Zahnfarbe durch eine hohe Variabilität innerhalb und zwischen den Untersuchern gekennzeichnet [54].

In vielen Studien, die die dentale visuelle Farbnahme thematisieren, wird der Betrachter darauf hingewiesen das mittlere Drittel des Zahnes mit dem mittleren Drittel des Farbmusters zu vergleichen [7], andere methodenspezifische Merkmale wie die genaue Positionierung und Angulation des Farbmusters gegenüber dem zu betrachtendem Zahn wurden bisher wissenschaftlich nicht untersucht.

3.1.2 Instrumentelle Zahnfarbbestimmung

Die instrumentelle Zahnfarbbestimmung kann mit Spektralphotometern [55-58], Kolorimetern [59-63], Spektralradiometern [56, 64, 65], digitale Kameras [57] und mit Intraoralscannern [66, 67] durchgeführt werden.

Bei Spektralphotometern mit einem Punktmessgerät wird weißes Licht emittiert, nach der Reflexion an der Zahnoberfläche wird der zurückgeworfene Lichtstrahl im Gerät analysiert und ausgewertet. Dort werden mit Hilfe eines Spektralfilters die einzelnen Wellenlängen des Lichts aufgeteilt. Aus dem entstehenden Remissionsspektrum wird dann die passende Zahnfarbe errechnet. Spektralphotometer werden nicht durch Tageslicht und Umgebungseinflüsse beeinflusst, damit ist es möglich die Genauigkeit bis um 33% im Vergleich zu visuellen Messmethoden zu steigern [68]. Mit dem Gerät VITA Easyshade[®] erreicht man eine Genauigkeit von 92,6% und eine Reproduzierbarkeit von 96,4% [69]. In der Literatur ist es das zuverlässigste Instrument für die Bestimmung der Zahnfarbe in vivo und in vitro [70]. Des Weiteren dient dieses Gerät in verschiedenen Studien als Referenzinstrument bei der Zahnfarbbestimmung [33, 71, 72]. Aus diesem Grund wird in der vorliegenden Studie auch das Gerät VITA Easyshade[®] V als instrumentelle Referenz genutzt.

Die Reproduzierbarkeit als Qualitätskriterium sagt jedoch nichts über die tatsächliche Farbe aus. Viele Studien haben die Reproduzierbarkeit bewertet [64, 73-75], die jedoch ohne eine Gegenüberstellung mit der visuellen Farbbestimmung keine validen Ergebnisse erzielen kann. Dies wurde in einer Multicenterstudie untersucht, bei der die Farbskalen VITA classical A1-D4[®] und VITA Toothguide 3D-MASTER[®] mit dem VITA Easyshade Advance[®] verglichen wurden. Die Validität der Farbbestimmung führte bei allen Verfahren zu gleich guten Ergebnissen [76].

Diverse Autoren gehen bei dem Vergleich der visuellen mit der instrumentellen Farbbestimmung von einer ca. 50%igen Übereinstimmung aus [60, 77-79]. Es wurden bisher noch keine Studien publiziert, die die verschiedenen visuellen Messmethoden mit der instrumentellen Farbbestimmung vergleichen.

3.3 Einflussfaktoren auf die Farbbestimmung

Die folgenden Einflussfaktoren beziehen sich ausschließlich auf die visuelle Farbbestimmung, da äußere Umgebungseinflüsse wie Lichtverhältnisse, Alter, Berufserfahrung und Übermüdung die instrumentelle Bestimmung nicht beeinflussen.

3.3.1 Betrachter abhängige Faktoren

Geschlecht

In vielen Studien wurde der Einfluss des Geschlechts auf die Zahnfarbbestimmung untersucht. Die meisten Untersuchungen fanden keinen signifikanten geschlechtsabhängigen Unterschied [10, 80-86]. Mehrere Quellen berichten gegensätzlich dazu, dass Frauen eher in der Lage sind, Farben genauer auszuwählen [11, 87-91], auch **Haddadhj et al.** führten an, dass das Geschlecht bei der visuellen Farbbestimmung eine entscheidende Rolle spielt, da Frauen signifikant besser abschließen als Männer [11]. **Donahue** publizierte als Einziger, dass Männer bessere Ergebnisse bei der Farbbestimmung erzielen [88].

Im Vergleich der aktuellen Literatur finden sich gegensätzliche Aussagen. Vermutlich spielt das Geschlecht eine untergeordnete Rolle bei der visuellen Farbbestimmung.

Berufserfahrung / Alter

Man würde erwarten, dass die Berufserfahrung positive Auswirkungen auf die Farbbestimmung hat. Tatsächlich weisen einige Untersuchungen darauf hin, dass die Berufserfahrung der Probanden eine wichtige Komponente bei der Farbbestimmung darstellt [92]. Zahnärzte, die regelmäßig prothetische und restaurative Zahnheilkunde betreiben, hatten eine höhere Übereinstimmungsquote als die Vergleichsgruppen [93]. In den Studien von **Okubo et al.**, **Hammad** und **Paravina et al.** wurde der positive Einfluss von Training und Berufserfahrung bestätigt [60, 94, 95]. Wenn man Farbbestimmung übt, kann man durch dieses Training signifikant besser abschneiden als ohne Training [96]. Die Kombination mit

Schulung und Training führte zu der größten Steigerung der Farbanpassungsqualität [13].

Demgegenüber stehen mindestens genauso viele Studien, die den Faktor Erfahrung als nicht signifikant bei der Farbbestimmung einstufen [11, 81, 87]. Die Qualität der Bestimmung wird laut **Bahannan** dadurch nicht beeinträchtigt [80, 86].

Eine Erklärung für die in den Studien dargestellte Diskrepanz ist, dass eine längere Berufserfahrung gleichzeitig ein höheres Lebensalter bedingt. Ein Altersunterschied von ca. 20 Jahren kann eine Ursache für Unstimmigkeiten in der Sehschärfe sein und sich daher auch in den Messergebnissen widerspiegeln [97]. Die Augenlinse verfärbt sich ab dem 30. Lebensjahr gelblich [98], somit verschiebt sich auch die Farbwahrnehmung von Weiß in Richtung Gelb und erschwert somit die Farbbestimmung. Studien, die einerseits das Alter als Einflussfaktor bei der Zahnfarbbestimmung ausschließen [85] und es andererseits als Grund für die Farbempfindlichkeitsänderung nennen [99], könnten damit in Zusammenhang gebracht werden.

Ermüdung

Die falsche Farbwahl in der Zahnmedizin wird häufig deswegen getroffen, weil die Untersucher geistig und körperlich ermüdet sind. Die Differenzierung zwischen Sättigung und Farbton fällt dem strapazierten Auge deutlich schwerer. Die Reizüberflutung bei vielen Farbbestimmungen ist eine der Hauptursachen, die zur Ermüdung führen [100]. Deshalb wurde auch eine Betrachtungs- und Abmusterungsdauer festgelegt, die 7 Sekunden nicht überschreiten und eine anschließende Unterbrechung von mindestens 10 Sekunden beinhalten sollte [44, 101]. Dadurch wird auch vermieden, dass Nachbilder erzeugt werden, die bei zu langer Betrachtung entstehen. Denn eine längere Betrachtungszeit belastet stark die Zapfen auf der Retina und führt zu einer geminderten Wahrnehmung der Farbsättigung [102].

Emotion

Bei der Farbbestimmung ist auf eine ruhige ungestörte Umgebung zu achten, da Emotionen wie Stress und Aggression den Pupillendurchmesser beeinflussen. Der Parasympathikus verengt die Pupille mithilfe des Musculus sphincter pupillae, der Sympathikus als Gegenspieler erweitert die Pupille durch den Musculus dilatator pupillae. Durch die veränderbare Pupillenstellung kann die Lichtintensität und die Farbwahrnehmung auf der Retina unterbewusst beeinflusst werden [60, 103].

Weitere Faktoren

Die Augenfarbe des Probanden beeinflusst die Farbbestimmung nicht. Auch die Verwendung von Brillen oder Kontaktlinsen hat das Messergebnis nicht beeinträchtigt [80].

3.3.2 Umgebungsfaktoren

Der Betrachtungswinkel auf den Zahn, das Make-up und die Kleidung des Patienten, sowie die Farbe des Hintergrundes und die Menge des Sonnenlichtes können die Farbauswahl beeinflussen [102]. Es hat sich herausgestellt, dass blaue Hintergründe zu deutlich schlechteren Ergebnissen bei der Farbbestimmung führen [104], darum sollte entweder ein farbneutrales Umfeld gewählt werden [102], oder der achromatische Standardhintergrund der Fotoindustrie mit 18 prozentig reflektierendem Grau [105]. Lippenstift sollte entfernt und bunte Kleidung farbneutral abgedeckt werden. Um Reflexionen zu vermeiden sollten sich die Augen des Behandlers auf Höhe der zu bestimmenden Zähne befinden.

Ein dunkleres Umfeld, wie z.B. eine dunkle Hautfarbe oder ein dunkleres Parodont lässt den Zahn heller erscheinen und umgekehrt. Diesem Helligkeitskontrast kann man entgegenwirken, indem man bei Patienten mit dunkleren Tönen dunklere Zahnfarben wählt und bei Patienten mit helleren Tönen hellere verwendet [19].

Lichtverhältnisse

Die Zahnfarbbestimmung ist maßgeblich abhängig von den Lichtverhältnissen [51, 106]. Um die Zahnfarbe in der Praxis ohne künstliche Lichtquellen bestimmen zu können, sind Idealbedingungen wie ein wolkenloser Himmel und eine Tageszeit von ca. 11 Uhr vormittags notwendig. Da sich der Anteil des Spektrums des sichtbaren Lichts in der Atmosphäre im Tagesverlauf ändert, variiert auch die Farbwahrnehmung des Betrachters in Abhängigkeit der Tageszeit [107]. Da die Idealbedingungen meist nicht zu realisieren sind wurden Tageslichtlampen durch die CIE eingeführt. Diese Leuchtmittelsreihe D (Daylight) ist dem Sonnenlicht in Quantität und Qualität sehr ähnlich [108, 109]. Leuchtmittel der Normlichtart D50 und einer Farbtemperatur von 5000 Kelvin simulieren die Morgen- bzw. Abendsonne. Für die zahnärztliche Farbbestimmung eignet sich am besten die Normlichtart D65, da diese mit ihrer Farbtemperatur von 6500 Kelvin der Vormittags- und Nachmittagssonne sehr nahekommt. Dadurch können Farbmessungen unabhängig von der Tageszeit durchgeführt werden [101, 110]. Die Leuchtkraft dieser Tageslichtlampen sollte zwischen 1500 und 2000Lx (Lux) betragen, um eine optimale Farbauflösung auf der Retina zu gewährleisten. Wenn weniger als 1500Lx an Leuchtkraft zur Verfügung steht werden vermehrt die Stäbchen im Auge angeregt, dies führt verstärkt zur Wahrnehmung von Grauwertunterschieden [111]. Die Lichtquelle sollte im 45° Winkel auf das zu bestimmende Objekt treffen, um Reflexionen zu vermeiden.

In vielen Studien wurde nachgewiesen, dass die Lichtquelle die Farbbestimmung beeinflusst [7, 80, 81, 87, 88, 112-114], durch die Verwendung künstlicher Lichtquellen verbessert sich die Farbbestimmung signifikant [115], außerdem wurde beobachtet, dass die Anzahl der korrekten Farbbestimmungen bei Zahntechnikern um 12,5 Prozent und bei den Zahnärzten um 1,8 Prozent steigt [116].

Metamerie

Die Zahnfarbe wird meist in geschlossenen Räumen am Fenster oder unter einer künstlichen Lichtquelle bestimmt. Wenn man nun die Lichtfarbe oder die Lichtart ändert resultiert daraus, dass derselbe Betrachter die Farbe nicht mehr als identisch wahrnimmt [117]. Daraus folgt, dass die künstlich hergestellte Zahnkrone, die im Behandlungszimmer farblich genau dem Nachbarzahn entspricht, nicht mehr als gleich empfunden wird. Beide Objekte müssen demnach eine unterschiedliche spektrale Reflexionskurve besitzen, sie sind metamere Farbobjekte [18]. Diese sogenannte Beleuchtungsmetamerie tritt am häufigsten auf [118]. Die Farbwahrnehmung von verschiedenen Beobachtern (Mensch oder Messgerät) kann bei ein und demselben Probenpaar durch die Unterschiede der spektralen Empfindlichkeitskurven der Beobachter variieren [18]. Dieses Phänomen wird als Beobachtermetamerie bezeichnet. Um den Einfluss der Metamerie zu reduzieren ist eine Farbbestimmung bei verschiedenen Lichtverhältnissen ratsam [19].

Objektbedingte Einflüsse

Die Oberflächenstruktur des Zahns oder der Restauration hat erheblichen Einfluss auf die Farbbestimmung. Ältere Zähne wirken oft dunkel und glasig wohingegen jugendliche Zähne opaker und heller wirken [119, 120]. Der Grund hierfür ist, dass das Licht an rauen Oberflächen diffuser reflektiert wird als an glatten und diese somit dunkler erscheinen. Das auftreffende Licht wird einerseits an der Oberfläche aber auch an mehreren Reflexionsflächen im Innern des Zahns zurückgeworfen. Die Reflexion im Inneren und die damit einhergehende partielle Lichtdurchlässigkeit bezeichnet man als Transluzenz. Dentalkeramiken sind heute in der Lage die natürliche Transluzenz eines Zahns nachzubilden. Materialien, die stark lichtundurchlässig sind wie zum Beispiel Metalllegierungen werden als opak bezeichnet. Das Licht kann in diese Materialien nicht eindringen und wird an der Oberfläche reflektiert und/ oder absorbiert. Übermäßige Opazität bzw. Transluzenz sollten bei Restaurationen vermieden werden, da Sie den Zahnersatz einerseits leblos, andererseits grau und dunkel wirken lassen [19].

4. Material und Methode

4.1 Materialliste

KaVo Studienmodell Basic	KaVo Dental GmbH, Biberach, Deutschland
Sirona InEos blue Scanner	Dentsply Sirona, Bensheim, Deutschland
Feldspat Rohlinge VITABLOCS® Mark II	VITA Zahnfabrik H. Rauter GmbH & Co. KG, Bad Säckingen, Deutschland
Schleifeinheit CEREC MC XL	Dentsply Sirona, Bensheim, Deutschland
Glanz Paste VITA AKZENT® Plus	VITA Zahnfabrik H. Rauter GmbH & Co. KG, Bad Säckingen, Deutschland
VITA Vacumat 6000M	VITA Zahnfabrik H. Rauter GmbH & Co. KG, Bad Säckingen, Deutschland
Try-in Paste Variolink II	Ivoclar Vivadent, Schaan, Lichtenstein

Normlichtleuchte Just modulight 6500	Just Normlicht, Weilheim, Deutschland
Phantomkopf mit Phantommaske	KaVo Dental GmbH, Biberach, Deutschland
Farbskala VITA classical A1-D4®	VITA Zahnfabrik H. Rauter GmbH & Co. KG, Bad Säckingen, Deutschland
Farbskala VITA Toothguide 3D-MASTER®	VITA Zahnfabrik H. Rauter GmbH & Co. KG, Bad Säckingen, Deutschland
Vakuumtiefziehgerät Erkoform-RVE	Erkodent Erich Kopp GmbH, Pfalzgrafenweiler, Deutschland
Tiefziehfolien Erkoflex 1,5mm	Erkodent Erich Kopp GmbH, Pfalzgrafenweiler, Deutschland
Kunststofffräse	Komet Dental Gebr. Brassler GmbH & Co. KG, Lemgo, Deutschland
Laptop Fujitsu	Fujitsu K.K. Minato, Japan

Microsoft Exel 2010

Microsoft Deutschland GmbH,
Unterschleißheim, Deutschland

CEREC Software

Dentsply Sirona,
Bensheim, Deutschland

Handstück Siemens TEH14Q – 19223

Dentsply Sirona,
Bensheim, Deutschland

4.2. Farbskalen

4.2.1 VITA classical Farbskala A1-D4®

Die Farbskala VITA classical A1-D4® (Abb.9) ist eine seit Jahrzehnten etablierte Lösung zur Zahnfarbbestimmung und wurde im Jahr 1983 erstmals eingeführt. Das System beinhaltet 16 unterschiedliche handgeschichtete Keramikfarbmuster. Die Musterzähne der VITA classical Farbfamilie sind in vier Gruppen unterteilt. Die unterschiedlichen Farbtongruppen gliedern sich wie folgt. Die Gruppe A1-A4 ist rötlich-bräunlich, die Gruppe B1-B4 ist rötlich-gelblich, die Gruppe C1-C4 ist gräulich und die Gruppe D2-D4 ist rötlich-grau. In jeder dieser Gruppen nimmt die Farbsättigung zu- und die Helligkeit ab, ebenso geht es von hellen, weniger gesättigten, zu dunklen mehr gesättigten Farbtönen. Die Zahnfarben, die statistisch am häufigsten auftreten werden von der Farbskala VITA classical A1-D4® gut abgedeckt. Dies führt jedoch dazu, dass sehr helle und sehr dunkle Farbtöne deutlich weniger repräsentiert sind.

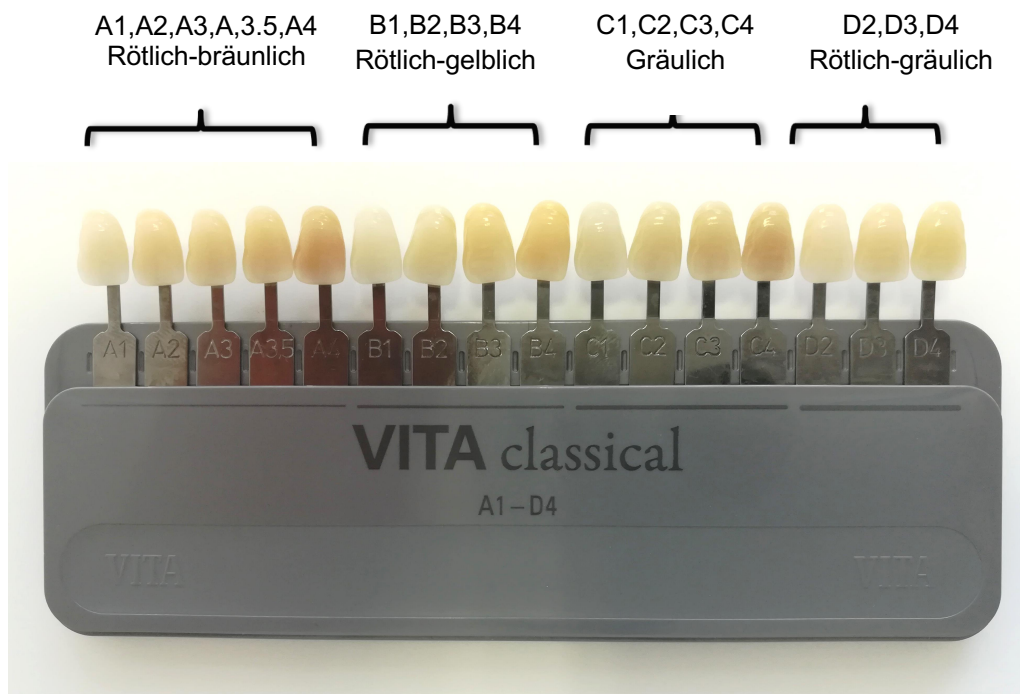


Abbildung 9: VITA classical A1-D4® Farbskala

4.2.2 VITA Toothguide 3D-MASTER®

Die hier verwendete Farbskala VITA Toothguide 3D-MASTER® (Abb.10) wurde 1998 eingeführt. Die Farbskala wurde nach wissenschaftlichen Prinzipien erstellt. Die Farbdistanzen zwischen den Mustern sind gleich im Farbenraum verteilt [121]. Der Farbschlüssel bietet sechs unterschiedliche Helligkeitsgruppen (0M1-5M1) mit insgesamt 29 Farbmustern. Die Muster der jeweiligen Gruppe weisen dieselbe Helligkeit, jedoch eine unterschiedliche Intensität und einen anderen Farbton auf. Die Farbbestimmung findet in drei Schritten statt. Zuerst wird die Helligkeit (Value) des Referenzzahns mit den Helligkeitsgruppen 0M1-5M1 bestimmt. Darauf folgt die Bestimmung der Intensität (Chroma) in der jeweiligen Helligkeitsgruppe mit den Werten M1, M2 und M3. Der Farbton (Hue) wird als letztes festgestellt, dabei wird verglichen ob das ausgewählte Farbmuster gelblicher (L) oder rötlicher (R) als der zu bestimmende Zahn ist. Da die Farbskala VITA Toothguide 3D-MASTER® deutlich mehr Farbmuster besitzt als die Skala VITA classical A1-D4® werden die natürlich vorkommenden Zahnfarben besser abgebildet [9].



Abbildung 10: VITA Toothguide 3D-Master® Farbskala mit bleached Farben

4.3 Farbmessgerät

4.3.1 VITA Easyshade® V

Die instrumentelle Farbmessung wurde mit dem VITA Easyshade® V (Abb.11) durchgeführt. Das Spektralfotometer, das seit dem Jahr 2015 im Handel erhältlich ist, besitzt einen Messbereich zwischen 400 und 700nm. Die Ausgabe der Zahnfarben findet „[...] in den weltweit etablierten Farbsystemen VITA classical A1-D4®, VITA SYSTEM 3D-MASTER®, VITABLOCS® sowie den Bleachedfarben gemäß der American Dental Association (ADA) [...]“ statt [122]. Durch emittiertes Licht, das im Zahninneren gestreut und von der Messspitze via Faseroptik zurück in das Gerät geleitet wird kann die spektrale Zusammensetzung des Lichts gemessen und ausgewertet werden. Diese Farbmessungen können in VITA classical A1-D4® Farben oder in VITA SYSTEM 3D-MASTER® Farben angezeigt werden.



Abbildung 11: VITA Easyshade® V

4.4 Messobjekte

Die Farbbestimmung findet an einem rechten oberen mittleren Schneidezahn in einem KaVo Studienmodell statt. Dieser wurde für die Aufnahme einer monolithischen Vollkeramikrestauration präpariert und anschließend mit dem CEREC InEos blue Scanner digital gescannt. Mithilfe der CEREC Software wurde ein digitales Modell errechnet. Die Parameter zur Herstellung der CAD/CAM gefertigten Kronen wurden so gewählt, dass die vestibuläre Stärke der Kronen 2 mm aufweist und der Zementraum zwischen Restauration und Zahn 0,1 mm beträgt. Zur Herstellung der Kronen wurden monolithische, monochrome Feldspat-Rohlinge VITABLOCS® Mark II in den Farben: 0M1, 1M1, 1M2, 2M1, 2M2, 2M3, 3M1, 3M2, 3M3 und 4M2 (Blockgröße I14) verwendet. Die Restaurationen wurden in der Schleif- und Fräseinheit CEREC MC XL unter Berücksichtigung aller Herstellerempfehlungen mit der Schleifgeschwindigkeit „normal“ gefräst. Mit der VITA AKZENT® Plus Glanz Paste wurden die Kronen bestrichen und im VITA Vacumat 6000M Ofen glasiert. Nach der Herstellung wurden alle Kronen auf Materialfehler und Inhomogenitäten überprüft und ggf. verworfen und neu hergestellt. Um zu verhindern, dass sich der 0,1 mm große Zementspalt beim Positionieren der Kronen mit Luft füllt wurde eine transparente Try-in Paste verwendet. Die Restaurationen waren auf der Rückseite mit Nummern kodiert, die vom Probanden nicht eingesehen werden konnten.

4.5 Probanden

Die Studie wurde mit 50 Probanden durchgeführt. Alle Probanden sind approbierte Zahnärzte. Das Kollektiv setzt sich aus 16 männlichen und 34 weiblichen Probanden zusammen. Der jüngste Proband war 23 Jahre und der älteste 47 Jahre alt. Das Durchschnittsalter beträgt 28,34 (+/- 5,22) Jahre. Die durchschnittliche Berufserfahrung beträgt 1,3 (+/- 1,91) Jahre. Der Proband mit der geringsten Berufserfahrung arbeitet seit einem halben Jahr, der Erfahrenste seit 10 Jahren als Zahnarzt.

4.6 Versuchsvorbereitungen und Versuchsbedingungen

Im Rahmen der Untersuchung wurde zu jederzeit auf standardisierte Umgebungsbedingungen geachtet. Bei der visuellen sowie der instrumentellen Farbbestimmung wurde auf natürliches Tageslicht verzichtet, da es im Laufe des Tages und wetterbedingt zu starken Schwankungen der Lichtqualität- und Quantität kommen kann. Alle Farbbestimmungen wurden in einem abgeschirmten Raum mit geschlossener Türe durchgeführt. Als einzige Lichtquelle wurde eine D65 Normlichtleuchte mit 6500k und 2000lx verwendet. Durch die Montage im 45Grad Winkel an der Decke ist eine optimale Ausleuchtung des Betrachtungsfeldes gewährleistet. Die rückseitige Wand des Versuchsaufbaus ist in grauer Farbe gehalten.

Der Proband, der die Zahnfarbbestimmung durchführt, sitzt auf einem höhenverstellbaren Stuhl vor einem Tisch, auf dem ein Phantomkopf mit Phantommaske und zwei KaVo Studienmodellen montiert sind. In einem für den Probanden angenehmen Abstand von ca. 0,5m findet die Abmusterung statt, dabei befinden sich die Augen des Betrachters auf der Höhe der zu bestimmenden Krone. Die CAD/CAM Keramikkrone befindet sich immer an Position 11 des KaVo Modells.

4.7 Vorgehen bei der Farbbestimmung

Der Proband bekommt an drei aufeinanderfolgenden Terminen die Farbskala VITA classical A1-D4® und die Farbskala VITA Toothguide 3D-MASTER® ausgehändigt. Jeder Proband erhält pro Zahnkrone und Farbschema drei Minuten Zeit zur Abmusterung. Jeder Proband wird darauf hingewiesen nach 7 Sekunden die Abmusterung kurz zu unterbrechen, um einer Übermüdung der Augen vorzubeugen. Die 10 Zahnkronen werden in zufälliger Reihenfolge präsentiert. Wenn die Abmusterung des Zahns mit beiden Farbskalen abgeschlossen ist, wird dem Versuchsleiter das Farbmuster ausgehändigt. Dieser Vorgang wiederholt sich neunmal, bis eine Abmusterungsmethode beendet ist. Es werden drei verschiedene Abmusterungsmethoden untersucht. Die Reihenfolge der Methoden variiert bei jedem Termin. In Abbildung 12 ist ein exemplarischer Ablauf des Abmusterungsprozesses dargestellt.



Abbildung 12: Exemplarischer Ablauf des Abmusterungsprozesses

4.7.1 Methode 1

Der Proband soll sein Farbmuster direkt rechts neben die Zahnkrone halten (in gleicher Ebene, gleiche Ausrichtung) und vergleichen (Abb. 13). Dieser Vorgang wird für jede der 10 Kronen wiederholt.



Abbildung 13: Exemplarische Durchführung der Abmusterung mit der VITA classical A1-D4® Farbskala, Methode 1.

4.7.2 Methode 2

Der Proband soll das in der Hand befindliche Farbmuster derart positionieren, dass sich die Farbmuster Schneide an Schneide befinden und diese anschließend vergleichen (Abb.14). Die Abmusterung muss wieder in 180 Sekunden abgeschlossen sein. Es werden dieselben 10 Keramikronen verwendet.



Abbildung 14: Exemplarische Durchführung der Abmusterung, Methode 2.

4.7.3 Methode 3

Der Phantomkopf wird um 45° nach rechts gedreht, um störende Reflexionen zu vermeiden. Der Proband soll sein Farbstäbchen in einem Winkel von 90° direkt rechts neben die Zahnkrone positionieren und wieder vergleichen (Abb.15). Die Blickrichtung des Probanden ist genau die Winkelhalbierende zwischen künstlicher Zahnkrone und Farbstäbchen.



Abbildung 15: Exemplarische Durchführung der Abmusterung, Methode 3.

Alle drei Durchgänge werden im Abstand von einer Woche zweimal wiederholt.

4.7.4 Farbbestimmung der Zahnkronen mit dem VITA Easyshade® V

Abschließend wurden alle zehn Kronen mit dem Spektralfotometer VITA Easyshade® V zehnmal unter standardisierten Bedingungen gemessen. Dazu wurde eine drei Millimeter dicke Tiefziehschiene über dem KaVO Modell hergestellt, die als Positionierungshilfe dient. Die Führungsschiene umfasst aus Stabilitätsgründen die Zähne 14-23 und wurde an Position des Zahns 11 mittig mit einer Fräse kreisrund perforiert (Abb.16), sodass die Messspitze mit der Faseroptik des Spektralfotometers hindurchgeführt werden kann. Die Umgebungsbedingungen entsprechen dem Versuchsaufbau der visuellen Farbbestimmung.



Abbildung 16: Positionierungsschiene für instrumentelle Messung.

Das Gerät wurde dafür verwendet, um die Farbe im zentralen Zahnbereich („Grundfarbbestimmung“) zu messen. Die Messspitze liegt dabei bündig am Zahn auf (Abb.17). Die Messung wird durch Drücken der Messtaste ausgelöst und durch ein akustisches Signal wieder beendet. Das Messergebnis wurde in den Zahnfarbsystemen VITA classical A1-D4® und VITA SYSTEM 3D-MASTER® Farbe angezeigt und die dazugehörigen Farbkoordinaten in eine Excel-Tabelle überführt.



Abbildung 17: Exemplarische Darstellung der instrumentellen Zahnfarbbestimmung mit dem VITA Easyshade® V.

Bei allen 16 VITA classical A1-D4® und allen 29 VITA Toothguide 3D-MASTER® Farbmustern wurde jeweils 10mal nacheinander mit dem VITA Easyshade® V die Farbe elektronisch bestimmt. Die elektronische Farbmessung fand unter den gleichen standardisierten Bedingungen statt wie die visuelle Zahnfarbbestimmung. Außerdem wurde ein neutraler grauer Hintergrund gewählt und eine Positionierungsschiene verwendet (siehe Abb.18).

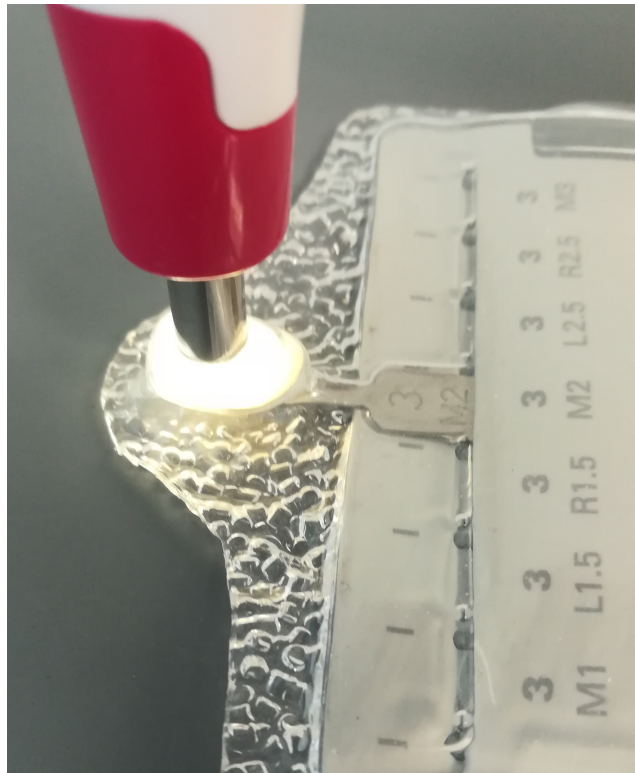


Abbildung 18: Exemplarische Darstellung der instrumentellen Farbbestimmung der Farbmuster unter Zuhilfenahme einer Positionierungsschiene mit dem VITA Easyshade® V.

4.7 Auswertung und Statistik

50 Probanden nahmen an der Studie teil. Das Kollektiv setzt sich aus 16 männlichen und 34 weiblichen Teilnehmern zusammen. Das Durchschnittsalter beträgt 28,42 (+/- 5,09) Jahre, die durchschnittliche Berufserfahrung 1,3 (+/- 1,94) Jahre. Das Alter wurde bei dem ersten Termin in Jahren, die Berufserfahrung seit Erhalt der Approbation des jeweiligen Probanden in halbjährlichen Schritten dokumentiert. Bei der visuellen Farbbestimmung mit zwei unterschiedlichen Farbskalen wurden zehn künstliche Zahnkronen von jedem Probanden in jeweils drei Durchgängen mit drei unterschiedlichen Methoden bestimmt. Drei Durchgänge wurden immer zu einem Termin zusammengefasst. Falls ein Proband an drei aufeinanderfolgenden Terminen mit derselben Methode und derselben Farbskala die identische Farbe bestimmt, wird der Durchgang mit dieser Krone als reproduzierbar gewertet. Wenn weniger als drei identisch sind, gilt der Durchgang als nicht reproduzierbar. In insgesamt 150 Terminen wurden je Farbskala 4500 Einzelmessungen durchgeführt. Die instrumentelle Bestimmung erfolgte dreißigmal je Zahnkrone, diese wurden in drei Termine unterteilt. Auch hier gilt ein Durchgang als reproduzierbar, wenn alle gemessenen Farben je Krone identisch sind.

Die erhobenen Daten wurden mit dem Tabellenkalkulationsprogramm MICROSOFT EXCEL 2010® (Microsoft, Corporation, Redmond, USA) dokumentiert und gespeichert. Die statistische Auswertung erfolgte durch das Programm IBM® SPSS® Statistics (IBM, Armonk, USA). Das Signifikanzniveau wurde auf 5% festgelegt. Die Untersuchung der Hauptfragestellung nach dem Vergleich der Reproduzierbarkeit der unterschiedlichen Abmusterungsmethoden erfolgte durch den Chi-Quadrat Test. Hierfür wurden die Ergebnisse der Probanden in zwei Gruppen dichotomisiert, wobei eine Gruppe die reproduzierbaren Ergebnisse beinhaltet und eine weitere die nichtreproduzierbaren. Die prozentuale Reproduzierbarkeitsrate wurde mit Hilfe von Häufigkeitstabellen berechnet. Hierfür wurden alle Kronen und alle auszuwählenden Farbmuster kodiert und auf Unterschiede zwischen den jeweiligen Methoden geprüft. Ferner wurde der Einfluss des Geschlechts (männlich/weiblich), der Berufserfahrung (≤ 1 Jahr/ < 1 Jahr) und des Alters (≤ 30 Jahre/ < 30 Jahre) auf die Reproduzierbarkeit mit dem Chi-Quadrat Test evaluiert. Zur besseren Visualisierung wurden die vorkommenden Häufigkeiten meist in prozentuale Häufigkeiten transformiert und Balkendiagramme im Excel-Tabellenkalkulationsprogramm erstellt.

Folgende Nullhypothesen wurden überprüft:

1. Die Reproduzierbarkeit unterscheidet sich bei der visuellen Farbbestimmung zwischen den Methoden.
2. Die Reproduzierbarkeit unterscheidet sich zwischen der Farbskala VITA classical A1-D4® und der Farbskala VITA Toothguide 3D-MASTER® nicht.
3. Geschlecht, Berufserfahrung und Alter der Probanden haben keinen Einfluss auf die Reproduzierbarkeit zwischen den Methoden.
4. Zwischen visueller und instrumenteller Reproduzierbarkeitsrate besteht kein Unterschied.

5. Ergebnisse der visuellen Farbbestimmung

Im Folgenden wird die Farbskala VITA classical A1-D4[®] mit VC und die Farbskala VITA Toothguide 3D-MASTER[®] mit 3D abgekürzt.

5.1 Vergleich der Reproduzierbarkeit zwischen den Methoden

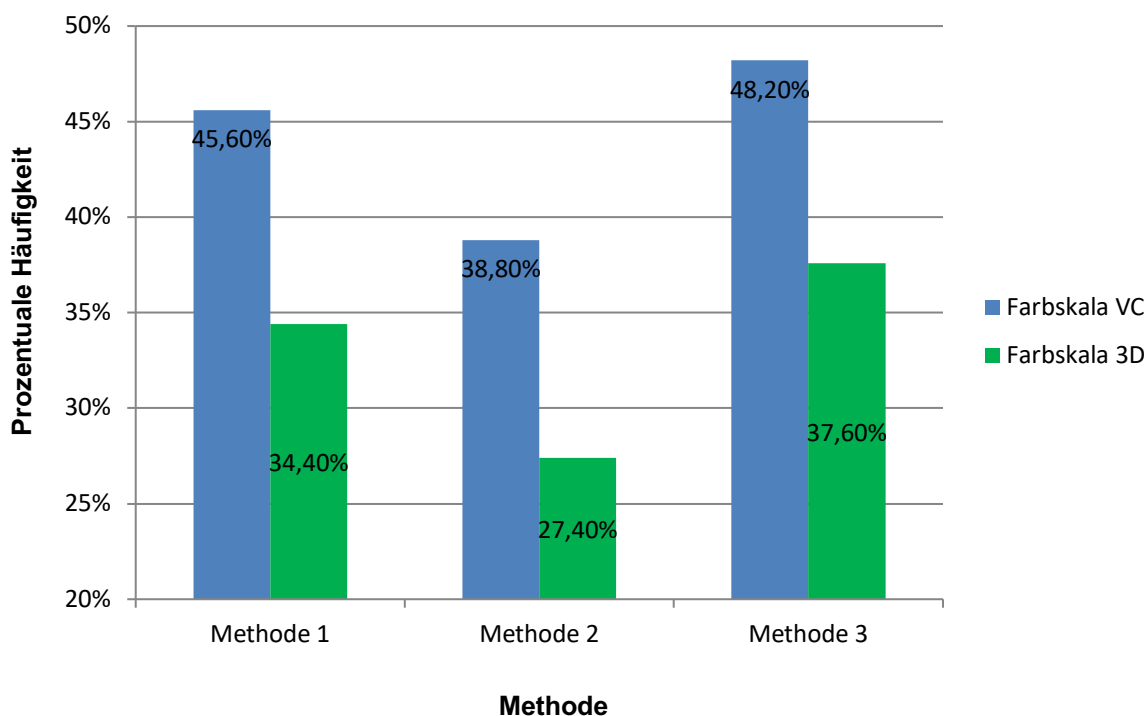


Abbildung 19: Vergleich der prozentualen Verteilung der Häufigkeit der Reproduzierbarkeit der einzelnen Methoden mit der Farbskala VC und 3D.

Die Farbskalen VITA classical A1-D4[®] und VITA Toothguide 3D-MASTER[®] weisen die größte prozentuale Reproduzierbarkeit bei Methode drei auf, gefolgt von der Methode eins und der Methode zwei (Abb. 19). Der Hypothesentest Chi-Quadrat zeigt, dass die Häufigkeiten zwischen den Methoden für die Skala VC ($p=0,008$) und 3D ($p=0,002$) signifikant unterschiedlich sind. Auch der Vergleich beider Farbskalen innerhalb der Methode eins ($p<0,001$), Methode zwei ($p<0,001$) und Methode drei ($p=0,001$) ergibt jeweils einen signifikanten Unterschied. Die ausgewählte Methode hat demzufolge einen signifikanten Einfluss auf die Reproduzierbarkeit, sowohl für die Farbskala VC als auch für 3D. Die beobachteten Häufigkeiten für die Reproduzierbarkeit zwischen den Farbskalen gesamt, wie auch innerhalb jeder

Methoden sind signifikant unterschiedlich. Mit 44,2 Prozent Reproduzierbarkeit lieferte die Farbskala VC signifikant bessere Ergebnisse als die Farbskala 3D mit 33,1 Prozent ($p < 0,05$).

5.2 Vergleich der Reproduzierbarkeit bezogen auf das Geschlecht

Über alle Methoden hinweg haben weibliche sowie männliche Probanden mit der Farbskala VC eine Reproduzierbarkeit von 44,2 Prozent erreicht. Die Frauen ($n=34$) hatten bei der Skala 3D 34,1 Prozent, die Männer ($n=16$) 31,0 Prozent Übereinstimmung. Der Chi-Quadrat-Test zeigt keinen signifikanten Unterschied zwischen den Geschlechtern bezogen auf die Häufigkeit der Reproduzierbarkeit, weder bei der VC ($p=0,986$) noch bei der 3D Skala ($p=0,238$).

5.2.1 Vergleich der Reproduzierbarkeit nach Geschlecht und Methoden

Im Folgenden wurde untersucht, ob es Geschlechtsunterschiede in der Reproduzierbarkeit bezogen auf die Methode gab. Das Diagramm (Abb. 20) beinhaltet die prozentualen Häufigkeiten der Farbskala VC. Der Chi-Quadrat-Test ergibt für Frauen ($p=0,163$) und Männer ($p=0,05$) keinen signifikanten Unterschied der Häufigkeiten zwischen den Methoden. Innerhalb der Methode eins ($p=0,122$), Methode zwei ($p=0,112$) und Methode drei ($p=0,982$) ergeben sich keine geschlechterspezifischen signifikanten Unterschiede.

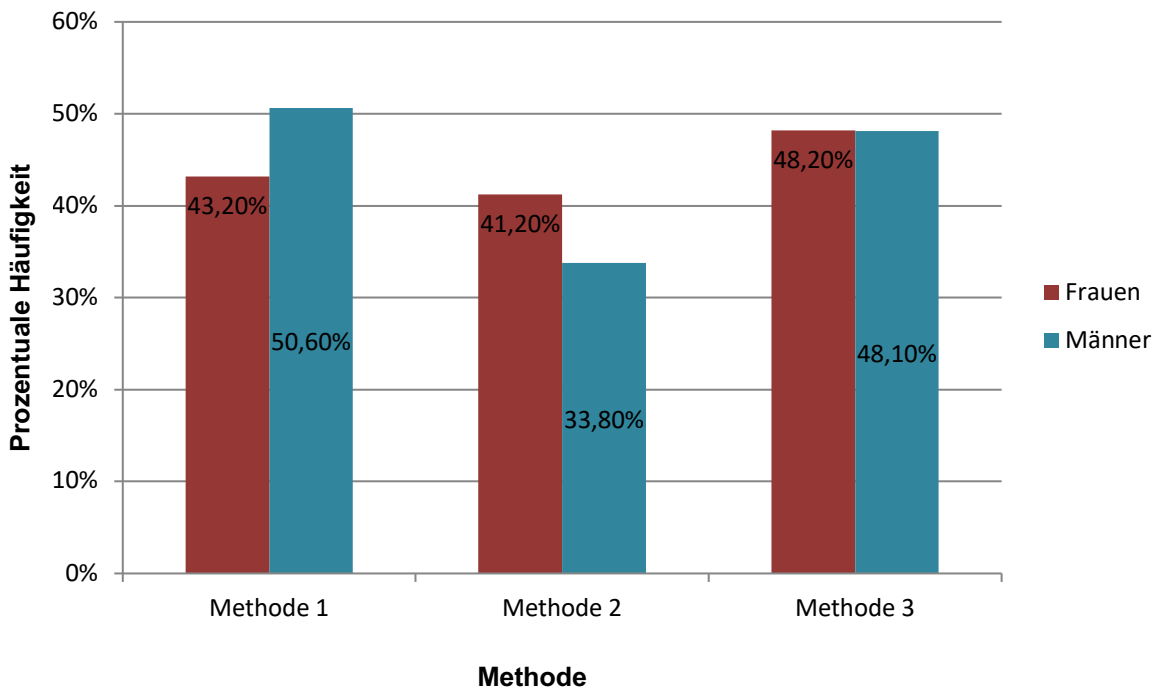


Abbildung 20: Vergleich der prozentualen Verteilung der Häufigkeit der Reproduzierbarkeit mit der Farbskala VC bezogen auf das Geschlecht

Das folgende Balkendiagramm (Abb. 21) visualisiert die prozentuale Verteilung der Häufigkeit der Reproduzierbarkeit der verschiedenen Methoden bezogen auf das Geschlecht. Das Diagramm beinhaltet die prozentualen Häufigkeiten der Farbskala 3D. Frauen zeigen einen Unterschied der Häufigkeiten zwischen den Methoden ($p=0,003$), wohingegen bei Männern kein signifikanter Unterschied festzustellen ist ($p=0,464$). Auch hier gibt es innerhalb der Methode eins ($p=0,415$), der Methode zwei ($p=0,973$) und der Methode drei ($p=0,223$) keinen geschlechterspezifischen signifikanten Unterschied.

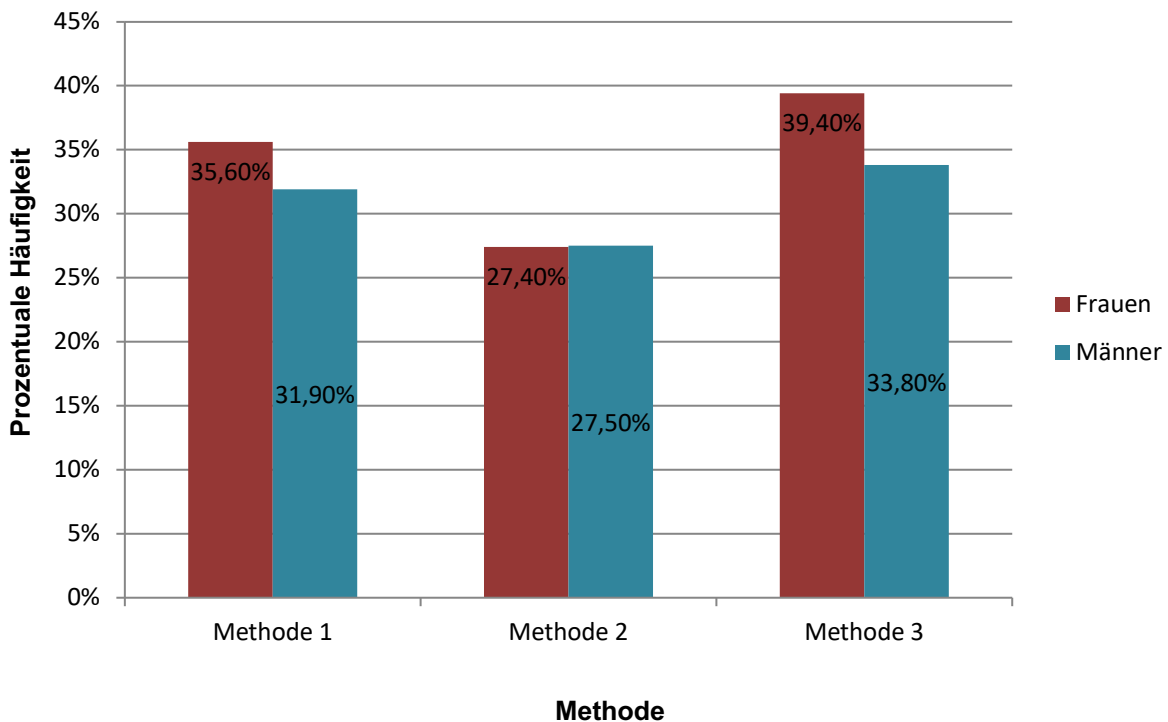


Abbildung 21: Vergleich der prozentualen Verteilung der Häufigkeit der Reproduzierbarkeit mit der Farbskala 3D bezogen auf das Geschlecht.

5.3 Vergleich der Reproduzierbarkeit bezogen auf das Alter

Die Probanden wurden in zwei Kohorten, die jüngeren (kleiner, gleich 30 Jahre, $n=37$) und die älteren (älter als 30 Jahre, $n=13$) unterteilt. Die jüngeren Probanden haben über alle Methoden hinweg 44,4 Prozent (VC) und 33,4 Prozent (3D) der Kronenfarben richtig reproduziert, ältere Probanden 43,6 Prozent (VC) und 32,3 Prozent (3D). Der Chi-Quadrat-Test zeigt weder bei VC ($p=0,778$) noch bei 3D ($p=0,687$) einen signifikanten Unterschied zwischen den Kohorten.

5.3.1 Vergleich der Reproduzierbarkeit nach Alter und Methoden

Das folgende Balkendiagramm (Abb. 22) zeigt die prozentuale Verteilung der Häufigkeit der Reproduzierbarkeit der verschiedenen Methoden bezogen auf das Alter. Das Diagramm beinhaltet die prozentualen Häufigkeiten der Farbskala VC. Der Chi-Quadrat-Test zeigt einen Unterschied der Häufigkeitsverteilung zwischen den Methoden bei der Probandenkohorte jünger bzw. gleich 30 Jahre ($p=0,005$), bei den über 30jährigen ergibt sich kein signifikanter Unterschied ($p=0,846$). Innerhalb der Methode eins ($p=0,793$), Methode zwei ($p=0,456$) und Methode drei ($p=0,342$) ergeben sich zwischen den Altersgruppen keine signifikanten Unterschiede.

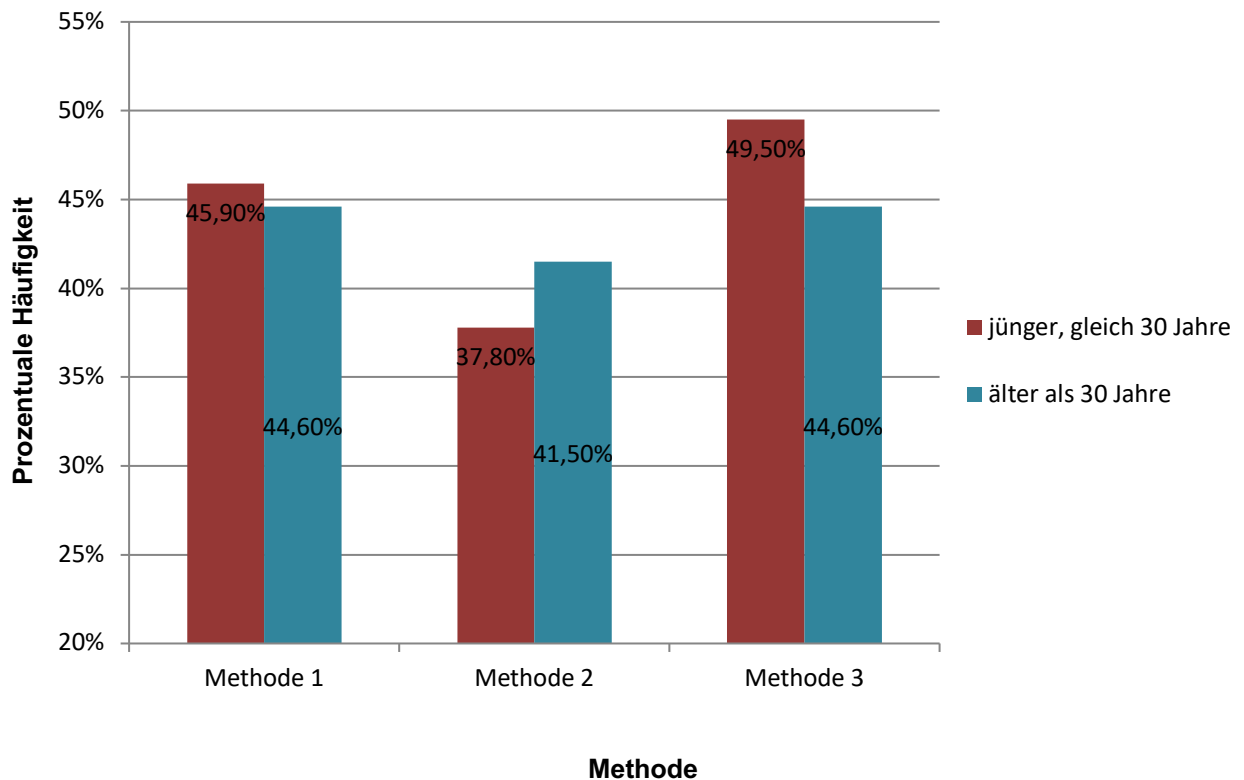


Abbildung 22: Vergleich der prozentualen Verteilung der Häufigkeit der Reproduzierbarkeit mit der Farbskala VC bezogen auf das Alter.

Das folgende Balkendiagramm (Abb. 23) zeigt die prozentuale Verteilung der Häufigkeit der Reproduzierbarkeit der verschiedenen Methoden bezogen auf das Alter. Das Diagramm beinhaltet die prozentualen Häufigkeiten der Farbskala 3D. Bei der jüngeren Probandenkohorte zeigt sich ein Unterscheid in der Reproduzierbarkeit ($p=0,003$), während die über 30jährigen keinen signifikanten Unterschied zeigten ($p=0,478$). Innerhalb der Methode eins ($p=0,425$), Methode zwei ($p=0,586$) und Methode drei ($p=0,692$) ergeben sich zwischen den Altersgruppen keine signifikanten Unterschiede.

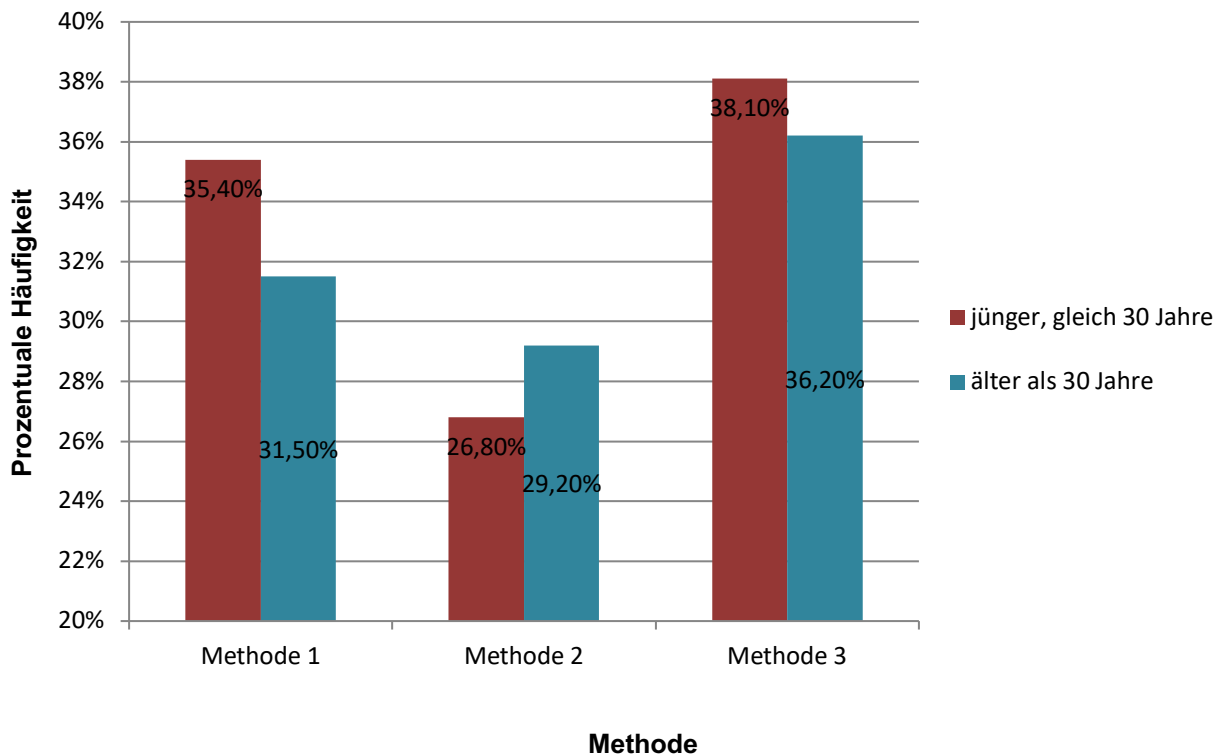


Abbildung 23: Vergleich der prozentualen Verteilung der Häufigkeit der Reproduzierbarkeit mit der Farbskala 3D bezogen auf das Alter.

5.4 Vergleich der Reproduzierbarkeit bezogen auf die Berufserfahrung

Die Probanden wurden in zwei Kohorten eingeteilt. In der einen befinden sich Probanden, die ein Jahr oder weniger Berufserfahrung haben (n=40), in der anderen diejenigen über ein Jahr (n=10). Die Probanden mit weniger Berufserfahrung haben über alle Methoden hinweg 44,0 Prozent (VC) und 32,6 Prozent (3D) der Farben richtig reproduziert, diejenigen mit mehr Erfahrung 45,0 Prozent (VC) und 35,3 Prozent (3D). Der Chi-Quadrat-Test zeigt weder bei VC ($p=0,755$) noch bei 3D ($p=0,365$) einen signifikanten Unterschied zwischen den Kohorten mit weniger und mit mehr Berufserfahrung.

5.4.1 Vergleich der Reproduzierbarkeit nach Berufserfahrung und Methoden

Das folgende Balkendiagramm (Abb. 24) zeigt die prozentuale Verteilung der Häufigkeit der Reproduzierbarkeit der verschiedenen Methoden bezogen auf die Berufserfahrung. Das Diagramm beinhaltet die prozentualen Häufigkeiten der Farbskala VC. Bei der Probandenkohorte mit weniger Berufserfahrung lässt sich ein Unterschied zwischen den Methoden erkennen ($p=0,010$), bei den Probanden mit mehr als einem Jahr Erfahrung nicht ($p=0,591$). Innerhalb der Methode eins ($p=0,590$), Methode zwei ($p=0,614$) und Methode drei ($p=0,623$) ergeben sich zwischen den Kohorten keine signifikanten Unterschiede.

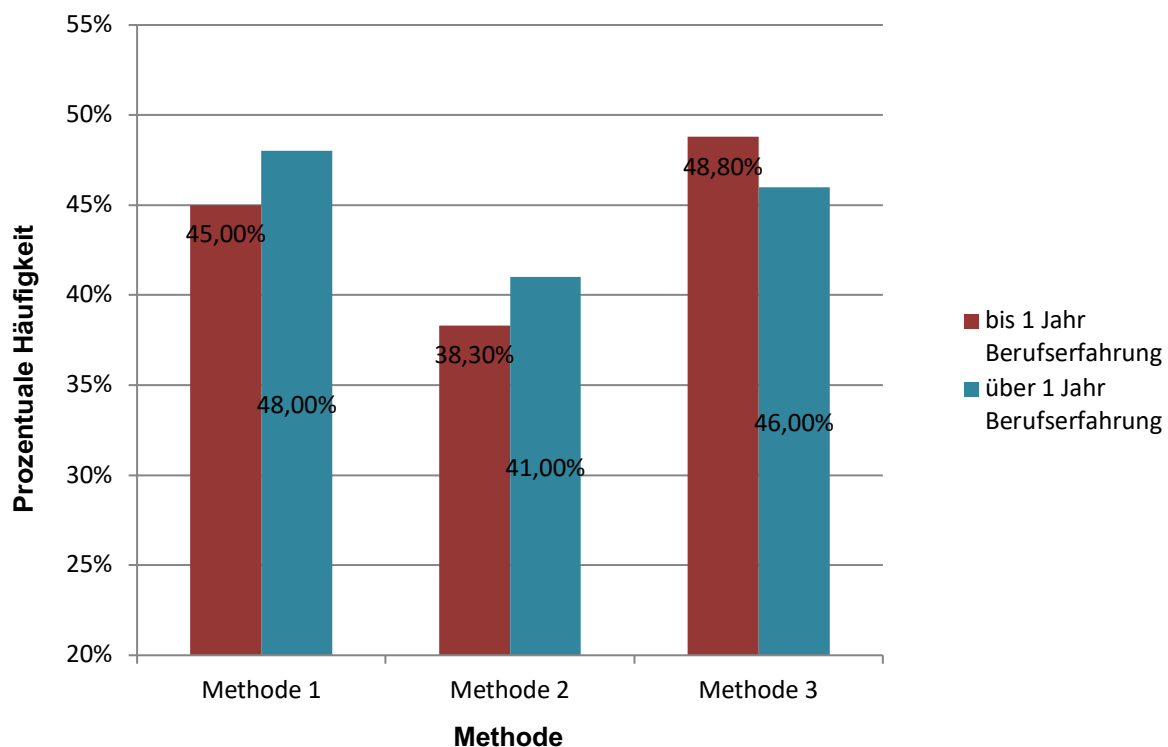


Abbildung 24: Vergleich der prozentualen Verteilung der Häufigkeit der Reproduzierbarkeit mit der Farbskala VC bezogen auf die Berufserfahrung.

Das folgende Balkendiagramm (Abb. 25) zeigt die prozentuale Verteilung der Häufigkeit der Reproduzierbarkeit der verschiedenen Methoden bezogen auf die Berufserfahrung. Das Diagramm beinhaltet die prozentualen Häufigkeiten der Farbskala 3D. Bei der Probandenkohorte mit weniger Berufserfahrung lässt sich ein Unterscheid der Häufigkeitsverteilung zwischen den Methoden erkennen ($p=0,001$), bei den Probanden über ein Jahr Erfahrung war kein Unterschied feststellbar ($p=0,758$). Innerhalb der Methode eins ($p=0,742$), Methode zwei ($p=0,057$) und Methode drei ($p=0,926$) ergeben sich zwischen den Kohorten keine signifikanten Unterschiede.

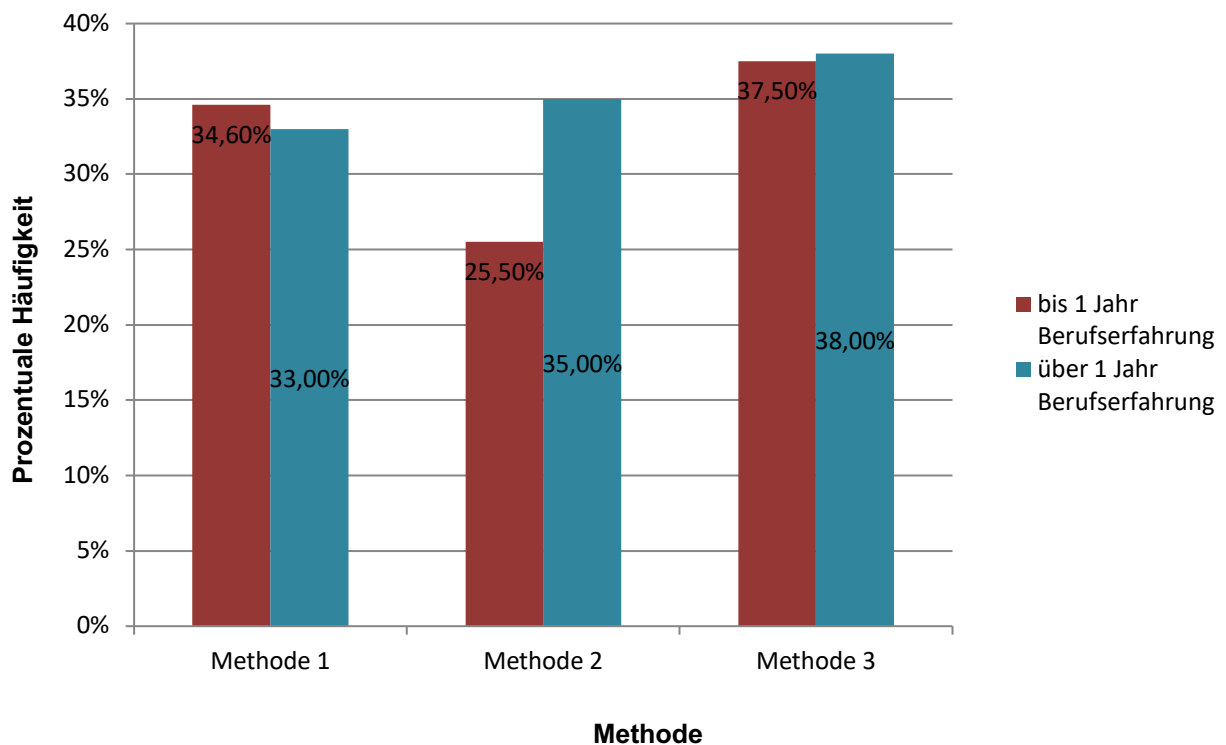


Abbildung 25: Vergleich der prozentualen Verteilung der Häufigkeit der Reproduzierbarkeit mit der Farbskala 3D bezogen auf die Berufserfahrung.

5.5 Vergleich der Reproduzierbarkeit nach Berufserfahrung und Alter

Das folgende Balkendiagramm (Abb. 26) zeigt die prozentuale Verteilung der Häufigkeit der Reproduzierbarkeit der verschiedenen Methoden bezogen auf die Berufserfahrung und das Alter der Probanden. Das Diagramm beinhaltet die prozentualen Häufigkeiten der Farbskala VC. Abbildung 27 unterteilt die Probanden in vier Kohorten (A-D). Ein Unterschied der Häufigkeitsverteilung zwischen den Methoden zeigt sich nur bei der Kohorte A ($n=32$, $p=0,009$), die Kohorten B ($n=5$; $p=0,434$), C ($n=8$; $p=0,802$) und D ($n=5$; $p=0,976$) wiesen keinen signifikanten Unterschied auf. Die Kohorte D hat wie im Diagramm 26 ersichtlich die geringsten prozentualen Unterschiede zwischen den Methoden. Probanden, die über eine geringe Berufserfahrung verfügen und jünger als 30 Jahre sind, liefern Unterschiede in der Reproduzierbarkeit bezogen auf die Methoden mit der Farbskala VC.

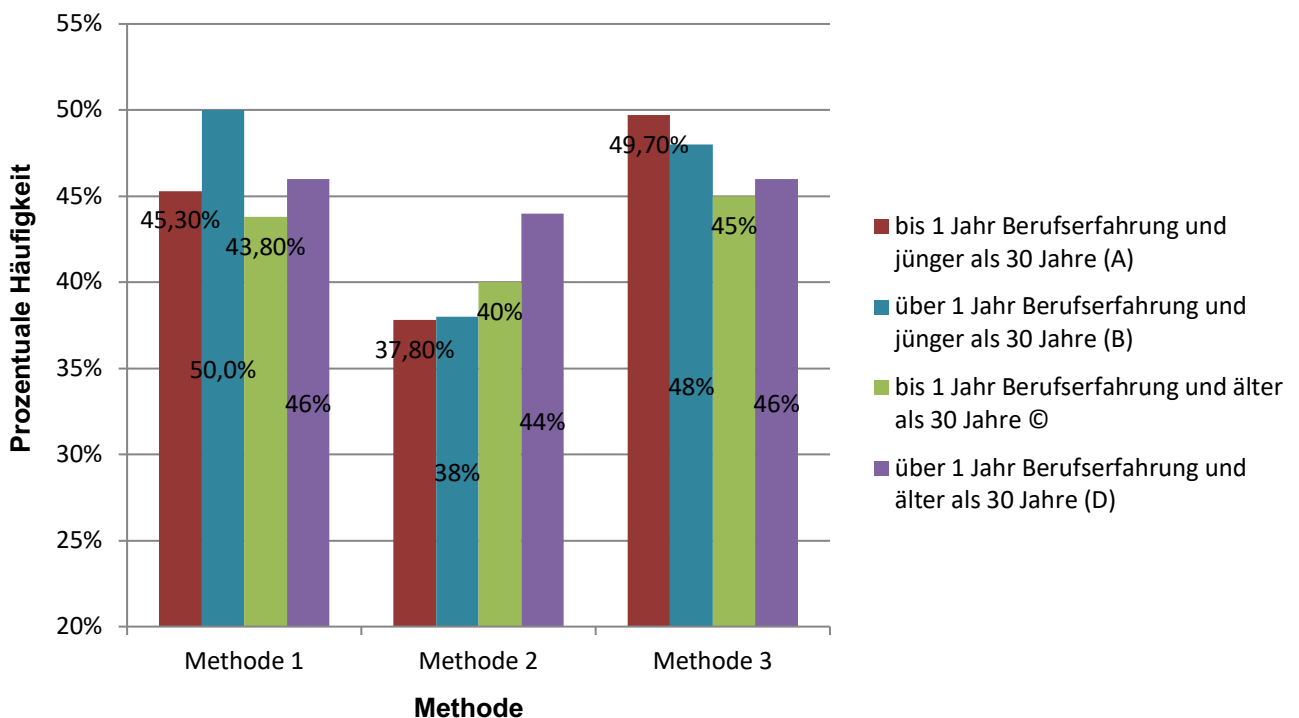


Abbildung 26: Vergleich der prozentualen Verteilung der Häufigkeit der Reproduzierbarkeit mit der Farbskala VC bezogen auf die Berufserfahrung und das Alter.

Das folgende Balkendiagramm (Abb. 27) zeigt die prozentuale Verteilung der Häufigkeit der Reproduzierbarkeit der verschiedenen Methoden bezogen auf die Berufserfahrung und das Alter der Probanden. Das Diagramm beinhaltet die prozentualen Häufigkeiten der Farbskala 3D. Abbildung 28 unterteilt die Probanden in vier Kohorten (A-D), der Chi-Quadrat-Test zeigt nur bei der Kohorte A (n=32) einen Unterschied der Reproduzierbarkeit zwischen den Methoden (p=0,001), die Kohorten B (n=5; p=0,712), C (n=8; p=0,392) und D (n=5; p=0,970) wiesen keinen signifikanten Unterschied auf. Die Kohorte D hat wie im Diagramm 28 ersichtlich die geringsten prozentualen Unterschiede zwischen den Methoden. Probanden, die über eine geringe Berufserfahrung verfügen und jünger als 30 Jahre sind, liefern signifikant unterschiedliche Ergebnisse bezogen auf die Methoden mit der Farbskala 3D.

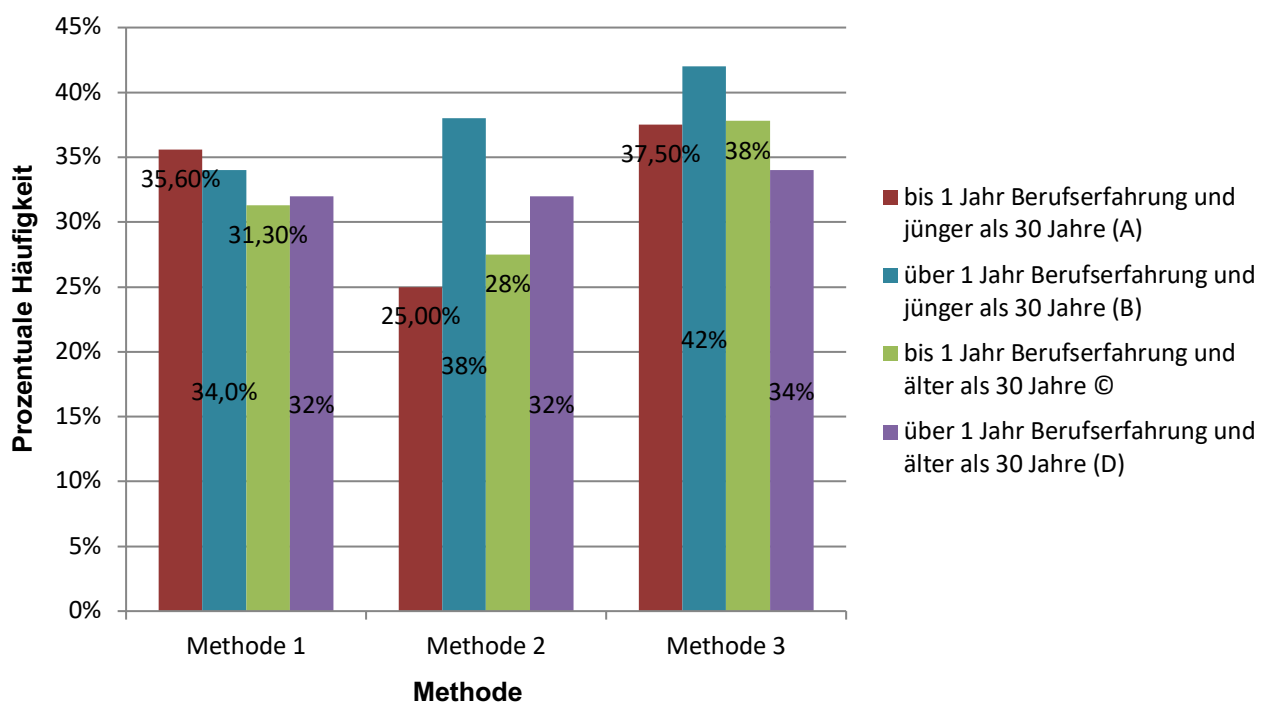


Abbildung 27: Vergleich der prozentualen Verteilung der Häufigkeit der Reproduzierbarkeit mit der Farbskala 3D bezogen auf die Berufserfahrung und das Alter.

5.6 Vergleich der Reproduzierbarkeit nach Kronenfarbe

Das folgende Balkendiagramm (Abb. 28) zeigt die Verteilung der Häufigkeit der Reproduzierbarkeit bezogen auf die Kronenfarbe mit der Farbskala VC und 3D. Die Reproduzierbarkeit war bei den helleren Farben 0M1, 1M1 und 1M2 mit der Farbskala VC ($p < 0,001$) höher. Mit der Farbskala 3D erreichten ebenfalls die hellen Farben 1M1 und 1M2 die höchsten Werte ($p < 0,001$). Der Vergleich der Farbskalen untereinander zeigte Unterschiede in den Farben 0M1 ($p < 0,001$), 1M1 ($p < 0,001$), 1M2 ($p = 0,042$) und 3M2 ($p = 0,009$).

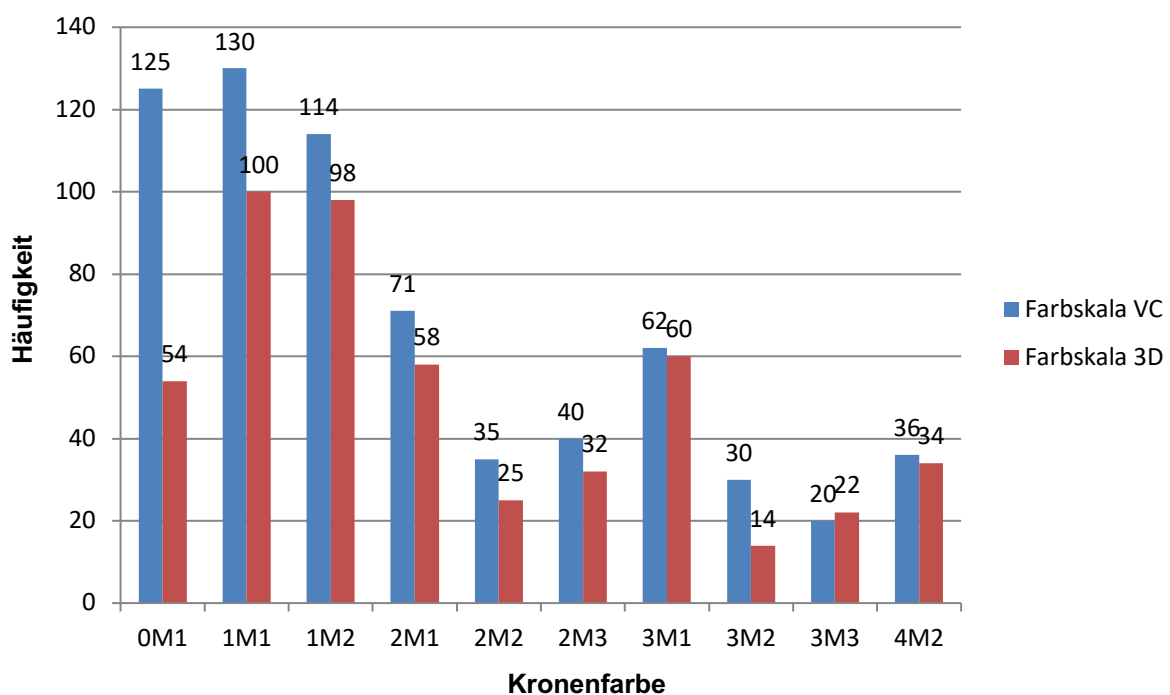


Abbildung 28: Verteilung der Häufigkeit der Reproduzierbarkeit bezogen auf die Kronenfarbe mit der Farbskala VC und 3D.

5.7 Vergleich der Reproduzierbarkeit nach Kronenfarbe und Methode

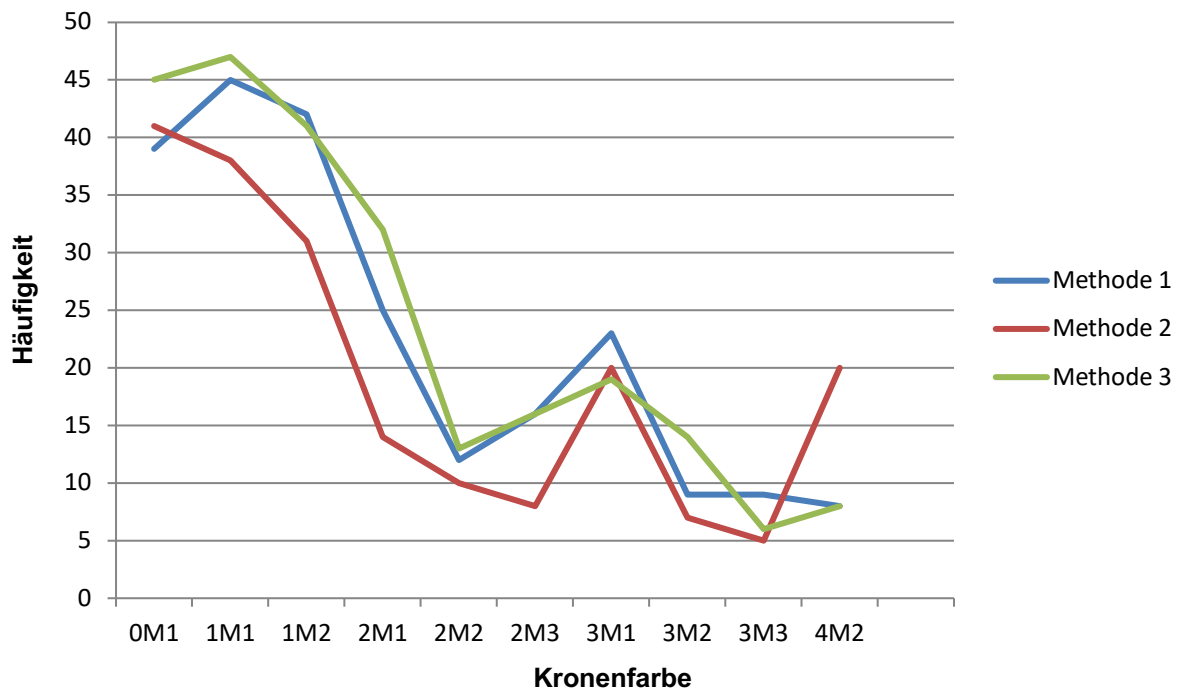


Abbildung 29: Verteilung der Häufigkeit der Reproduzierbarkeit bezogen auf die Kronenfarbe und Methode mit der Farbskala VC.

Das Diagramm (Abb. 29) zeigt die Verteilung der Häufigkeit der Reproduzierbarkeit bezogen auf die Kronenfarbe in Abhängigkeit der Methode mit der Farbskala VC. Der Chi-Quadrat-Test zeigt einen Unterschied bei den Farben 1M1 ($p=0,021$), 1M2 ($p=0,017$), 2M1 ($p=0,001$) und 4M2 ($p=0,005$) zwischen den drei Methoden. Bei allen anderen Farben wurde kein signifikanter Unterschied festgestellt. In Abbildung 29 wird deutlich, dass die gemessenen Häufigkeiten der Methode zwei meist unter denen der anderen Methoden liegen.

Das folgende Diagramm (Abb. 30) zeigt die Verteilung der Häufigkeit der Reproduzierbarkeit bezogen auf die Kronenfarbe in Abhängigkeit der Methode mit der Farbskala 3D. Der Chi-Quadrat-Test zeigt einen Unterschied bei den Farben 1M2 ($p=0,006$) und 2M3 ($p=0,049$). Bei allen anderen Farben wurde kein signifikanter Unterschied festgestellt ($p>0,05$). In Abbildung 30 wird deutlich, dass die gemessenen Häufigkeiten der Methode zwei meist unter denen der anderen liegen.

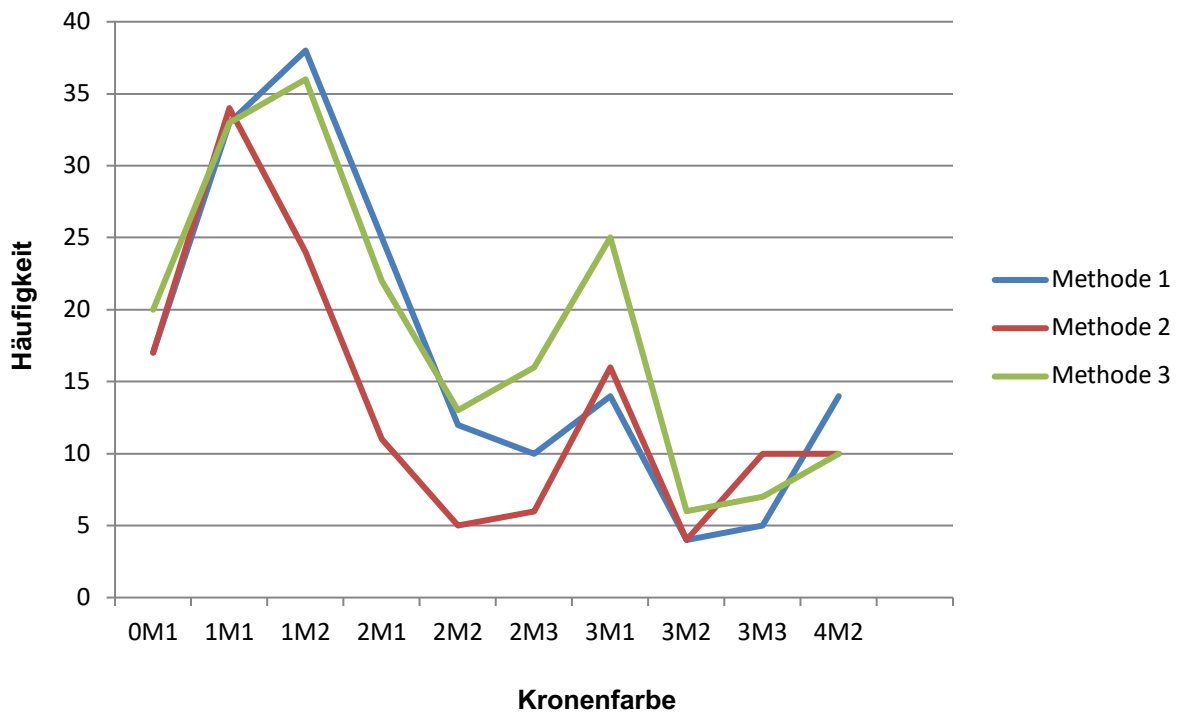


Abbildung 30: Verteilung der Häufigkeit der Reproduzierbarkeit bezogen auf die Kronenfarbe und Methode mit der Farbskala 3D.

5.8 Ergebnisse der instrumentellen Messung mit dem VITA Easyshade V®

Die Reproduzierbarkeit lag bei der angezeigten VITA classical Farbe bei insgesamt 99 Prozent und bei der 3D-Master Farbe bei 94 Prozent. Das folgende Balkendiagramm (Abb. 31) zeigt die prozentuale Verteilung der Häufigkeit der Reproduzierbarkeit der vom Spektralphotometer VITA Easyshade V® angezeigten Farben VITA classical und VITA 3D-Master. Die Reproduzierbarkeit unterscheidet sich weder bei der angezeigten Farbe VITA classical noch bei der Farbe VITA 3D-Master signifikant.

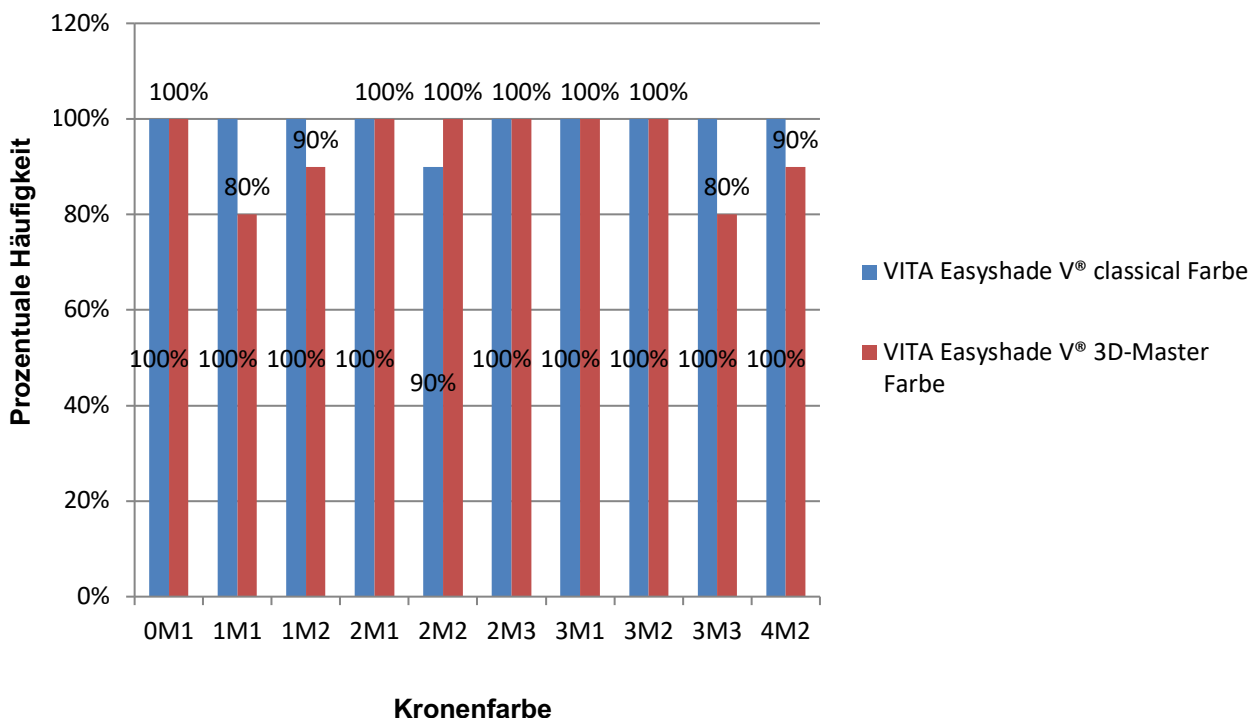


Abbildung 31: prozentuale Verteilung der Häufigkeit der Reproduzierbarkeit der vom Spektralphotometer VITA Easyshade V® angezeigten Farben VITA classical und VITA 3D-Master.

6. Diskussion

6.1 Diskussion der Methodik

Diese Untersuchung zeigt die unterschiedliche Reproduzierbarkeit bei der visuellen dentalen Farbbestimmung in Bezug auf die Positionierung des Farbmusters und den anschließenden Vergleich mit einem Spektralphotometer. Nach Genehmigung der Ethikkommission nahmen 50 approbierte Zahnärzte, 34 weibliche und 16 männliche mit einem Durchschnittsalter von 28,42 (+/- 5,09) Jahren an der Studie teil. Ein Großteil der Studienteilnehmer weist eine geringe Berufserfahrung von einem Jahr oder weniger auf. Eine Untersuchung von **McMaugh** zeigt, dass es keinen signifikanten Unterschied in der Farbauswahl zwischen Studenten im letzten Jahr ihres Studiums und allgemein praktizierenden Zahnärzten gibt [91]. Deshalb kann man die Probandenkohorte als repräsentativ für die allgemein-zahnärztlich praktizierenden Mediziner ansehen.

Die Schwierigkeit Farbskalen und die visuell bestimmten Ergebnisse wissenschaftlich zu bewerten besteht darin, dass eine objektive Farbbestimmung naturgemäß nicht möglich ist und dadurch eine Kontroll- oder Referenzgruppe fehlt, wodurch die Methodenauswahl erheblich erschwert wird. Eine Möglichkeit der Bewertung der unterschiedlichen Positionierungen wäre diejenige durch die Probanden, um eine entsprechend qualitative Einschätzung vornehmen zu können. Diese Ergebnisse wären jedoch nur bedingt aussagekräftig, da auch Probanden mit einem subjektiv „guten“ Gefühl keine objektiv verwertbaren Aussagen liefern. Da der subjektive Vergleich kein verlässliches Ergebnis liefern würde, wurde die Wiederholbarkeit der unterschiedlichen Farben, also die Reproduzierbarkeit der Farbmessungen als Kenngröße miteinander verglichen. So wurde in diversen Farbuntersuchungsstudien [79, 123] die Reproduzierbarkeit als Qualitätskriterium zur Bewertung der Ergebnisse herangezogen. In der vorliegenden Studie wurde jede Kronenfarbe, die von den Probanden in jedem der drei Durchgänge identisch bestimmt wurde, als reproduzierbar gewertet. Hier ist zu bedenken, dass es jedoch auch nur zwei Abstufungen beim Ergebnis der Farbbestimmung gibt. Wenn keine, oder zwei von drei Abmusterungen übereinstimmten ging das Ergebnis gleichermaßen als nicht reproduzierbar in die Wertung mit ein. Durch diese

abgestufte und in statistischer Hinsicht relativ „harte“ Beurteilung lassen sich alle drei visuellen Farbbestimmungsmethoden objektiv miteinander vergleichen.

Da es noch keine wissenschaftliche Untersuchung zur Auswirkung der Positionierung des Farbmusterstäbchens bei der dentalen Farbnahme gibt, entstammt die Positionierungsauswahl der zahnärztlichen Praxis, wodurch die Erkenntnisse dieser Untersuchung eine hohe klinische Aussagekraft besitzen. Sicherlich sind nicht alle hier vorgestellten Methoden in der klinischen Anwendung umsetzbar. So ist die visuelle Farbbestimmung im Seitenzahnbereich nur mit angulierten Farbmustern zu realisieren, wohingegen im Frontzahnbereich jeder Zahnarzt die Farbe subjektiv nach seinem Empfinden durch freies Positionieren des Farbmusterstäbchens bestimmt. Somit stellt sich bei einer weltweit täglich relativ hohen Anzahl an Farbnahmen die Frage nach der optimalen Positionierung des jeweiligen Farbmusters, soweit eben umsetzbar. In dieser Studie wurden daher drei Positionierungsmöglichkeiten von Farbmustern bei der dentalen Farbnahme miteinander verglichen. Hierbei wurde der genaue Ablauf der drei unterschiedlichen Abmusterungsmethoden jedem Probanden einzeln, verbal und visuell im Rahmen der Einführung in die Farbbestimmung demonstriert (siehe Abb. 13-15). Es ist hierbei sicherlich nicht auszuschließen, dass geringe individuelle Abweichungen bei der Positionierung der Farbmusterstäbchen aufgetreten sind, die die Farbwahrnehmung beeinflusst haben könnten. Diesbezüglich existieren in der Literatur derzeit keine Untersuchungen, in denen verschiedene Methoden der Positionierung von Farbmustern miteinander verglichen wurden. Insbesondere machen viele Autoren diesbezüglich auch keine genauen Angaben wie das jeweilige Farbmuster beim visuellen Abgleich gehalten wurde [12, 79, 97, 123]. **Ihab A. Hammad** wies lediglich seine Studienteilnehmer darauf hin, dass das Farbmuster direkt neben den zu bestimmenden Zahn positioniert werden soll [94]. Bei **Della Bona et al.** wurde immerhin ein Teil der Probanden angewiesen das Farbstäbchen in einer Ebene mit dem zu bestimmenden rechten oberen mittleren Schneidezahn zu halten [7]. Selbst **Billmeyer** und **Saltzman**, die Herausgeber der Grundlagen der Farbtechnologie vergleichen visuell nur Proben die nebeneinander liegen, ohne auf die dreidimensionale Angulation und Richtung einzugehen [18].

Um eine entsprechend hohe Aussagekraft für den klinischen Alltag zu erhalten, wurde für die Farbbestimmung die meistgenutzte Farbskala VITA classical A1-D4® dem später entwickelten Farbbestimmungssystem VITA Toothguide 3D-MASTER®

gegenübergestellt. Dadurch können einerseits Unterschiede zwischen den Skalen ermittelt, andererseits auch farbskalenunabhängige Ergebnisse evaluiert werden. Dadurch, dass viele Zahnärzte die visuelle Farbbestimmung in der Praxis nur mit dem ihnen vertrauten Farbsystem durchführen, fehlt ihnen entsprechend die Erfahrung mit dem Umgang anderer Systeme. **Faber und Schlegel** zeigten, dass genau diese Erfahrung mit einem Farbsystem nicht auf eines dem Benutzer unbekanntes Farbsystem übertragen werden kann [124], daher wurde die Handhabung beider Farbskalen demonstriert und eine der Untersuchung entsprechend vorgeschaltete Testphase durchgeführt. Ein grundlegendes Problem der Farbskalen ist jedoch hierbei, dass nicht das gesamte Farbvolumen erfasst wird [50], sondern nur diskrete Farben dargestellt werden und dass zusätzlich Abweichungen bei zwischen denselben Farbmustern des gleichen Herstellers auftreten können. Um diese Abweichungen zu minimieren nutzte jeder Proband dieselben beiden fabrikneuen Farbskalen. Dabei ist zu beachten, dass die erhöhte Anzahl der Farbmuster des VITA Toothguide 3D-MASTER® Systems hypothetisch zu mehr Fehlern als bei dem VITA classical A1-D4® [125] führen kann, was sich wiederum in Reproduzierbarkeit widerspiegeln kann.

Da die Lichtquelle als Einflussfaktor eine hohe Relevanz besitzt [7, 80, 81, 87, 88, 112-114], fand bei dieser Untersuchung die Farbnahme in einem für das Außenlicht völlig abgeschotteten Raum mit geschlossener Tür statt. Die einzige künstliche Lichtquelle war die Normlichtleuchte Just modulight 6500 mit einer Farbtemperatur von 6500 Kelvin, wodurch bei jedem Probanden dieselben tageszeitunabhängigen Bedingungen vorherrschten. Durch die Angulation der Deckenlampe um 45° in Richtung des Versuchsaufbaus wurden störende Lichtreflexionen weitgehend vermieden, so dass potentielle Einflussfaktoren auf die Studienergebnisse durch die Lichtverhältnisse minimiert werden konnten. Außerdem wurde jede zu bestimmende Zahnkrone in demselben Phantomkopf positioniert, um die Lichtverhältnisse in der Mundhöhle zu simulieren und dadurch eine möglichst praxisnahe Ausgangsposition zu erreichen. Des Weiteren ermöglichte ein höhenverstellbarer Stuhl es jedem Probanden sich frontal in einem Abstand von ca. 0,5m zum Phantomkopf zu positionieren. Dadurch reduzierte sich der Einfluss von Lichtreflexionen der auf den Größenunterschied der Probanden zurückzuführen war ebenfalls. Um der Ermüdung der Probanden durch eine Reizüberflutung während eines Farbbestimmungsdurchgangs entgegenzuwirken wurde einerseits die

rückwärtige Wand des Versuchsaufbaus grau gestrichen [100], andererseits sollte jeder Proband nach 7 Sekunden die Abmusterung für 10 Sekunden unterbrechen [101]. Bei dieser Untersuchung konnten jedoch eventuelle tageszeitabhängige Schwankungen der Konzentrationsfähigkeit der Probanden auftreten, da die Abmusterungsvorgänge zu unterschiedlichen Zeiten zwischen 7Uhr morgens und 19Uhr abends stattfanden. Um die reproduzierbare Farbauswahl standardisiert und isoliert betrachten zu können, wurden zehn identisch designte Zahnkronen unterschiedlicher Farbe hergestellt. Auf die Bestimmung der klinischen Zahnfarbe, also die Farbe des eingegliederten Zahnersatzes am Patienten wurde bewusst verzichtet, da die Positionierung der Patienten und die unterschiedliche technische Fertigung der Kronen einen unkontrollierbaren Einfluss ausüben würden. Bei der vorliegenden Studie erfolgte der Herstellungsprozess der Zahnkronen, nachdem eine Hohlkehlpräparation an einem KaVo-Kunststoffzahn zur Aufnahme einer Vollkeramikkrone digital eingescannt wurde. Somit konnte eine künstliche Zahnkrone digital designt und standardisiert mit industriell gefertigten, monolithischen, monochromen Feldspat-Rohlingen VITABLOCS® Mark II der Firma VITA in zehn unterschiedlichen Farben: 0M1, 1M1, 1M2, 2M1, 2M2, 2M3, 3M1, 3M2, 3M3 und 4M2 produziert werden. Nur durch diese computergestützte Fertigungsweise war es möglich die für die vorliegende Studie zwingend notwendig identisch geformten Zahnkronen in unterschiedlichen Farben herzustellen. Weil sich die Farbwirkung in Abhängigkeit der Schichtstärke der Inzisalkante ändert [126, 127], wurden die Parameter zur Herstellung der gefertigten Kronen so gewählt, dass die vestibuläre Stärke der Kronen immer 2 mm aufweist und der Zementraum zwischen Restauration und Zahn 0,1 mm beträgt.

Wie **Ristic**, **I. Stankovic** und **S. Paravina** bereits nachweisen konnten, führt längeres Üben des Farbabmusterungsprozesses zu signifikant besseren Ergebnissen [96]. Um diesen Trainings- oder Lerneffekt zu minimieren fanden die drei Abmusterungsvorgänge jeweils im Abstand von einer Woche statt. Desweiteren wurden den Probanden die Kronen in einer randomisierten Reihenfolge präsentiert und jeweils mit einer anderen Abmusterungsmethode gestartet. Jeder Proband führte insgesamt 180 Farbmessungen aus, somit ergaben sich je Farbskala 4500 Einzelmessungen, welche aus statistischer Hinsicht ausreichend für eine entsprechende Beurteilung waren.

Ferner sollte berücksichtigt werden, dass durch die gewählte Vorgehensweise die Reproduzierbarkeit der jeweiligen Kronenfarbe ermittelt wurde, diese aber nicht mit der „tatsächlichen“ Farbe übereinstimmen muss, da naturgemäß der sogenannte wahre Wert nicht bekannt ist. Somit sind nur Aussagen über die unterschiedlichen Übereinstimmungen der Messungen bezogen auf die Abmusterungsmethodik und hinsichtlich der Farben der Kronen möglich.

Die instrumentelle Farbbestimmung wurde mit dem VITA Easyshade V® Spektralphotometer durchgeführt, da dieses Gerät in diversen Studien als Referenzinstrument bei der Farbbestimmung dient [33, 71, 72]. Die Kalibrierung des Geräts erfolgte laut Herstellerangaben nach jeder Messung neu, wodurch die entsprechende Funktionsfähigkeit zu erwarten war. Der Versuchsaufbau unterscheidet sich von der visuellen Farbbestimmung dahingehend, dass eine Positionierungsschiene eine weitgehende exakte Platzierung der Messspitze der Faseroptik des Spektralphotometers im 90° Winkel zur Zahnoberfläche garantierte (siehe Abb. 17). Hierbei war jedoch nicht auszuschließen, dass es zu geringen Winkelabweichungen gekommen sein könnte, was möglicherweise einen geringen aber durchaus nachteiligen Effekt auf die Reproduzierbarkeit gehabt haben könnte. Vorteilhaft wirkte sich die Positionierungshilfe dahingehend aus, dass stets der gleiche Bereich vermessen wurde, was bei Messungen ohne Positionierungsschiene in dieser Art sicherlich nicht möglich ist. Ansonst entsprachen die Testbedingungen bei der elektronischen Farbbestimmung exakt denen der visuellen Farbnahme, so dass im Sinne der Standardisierung möglichst ungewünschte Einflussfaktoren vermieden werden konnten. Um auch in statistischer Hinsicht eine präzise Gegenüberstellung der visuellen mit den instrumentellen Messergebnissen zu gewährleisten, wurde hinsichtlich der methodischen Bewertung gleichermaßen nur diejenigen Ergebnisse als reproduzierbar gewertet, die in drei aufeinanderfolgenden Messungen das gleiche Resultat erzielten. Aber auch hier ist zu bedenken, dass die ermittelte Reproduzierbarkeit der bestimmten Zahnfarbe nicht mit der „wahren“ Farbe übereinstimmen muss.

6.2 Diskussion der Ergebnisse

6.2.1 Reproduzierbarkeit der visuellen Farbbestimmung

In der vorliegenden Untersuchung wurden mit der Farbskala VITA classical A1-D4® 44,2 Prozent reproduzierbare Ergebnisse erzielt. Bei Verwendung der Skala VITA Toothguide 3D-MASTER® hingegen war der Anteil mit 33,1 Prozent Reproduzierbarkeit geringer. Die Reproduzierbarkeit, als das am weitesten verbreitete Qualitätskriterium der instrumentellen Farbbestimmung, dient der, soweit eben möglich, objektiven Beurteilung [68, 128-130], wohingegen die visuelle Farbbestimmung durch die Übereinstimmung determiniert wird. Hierbei sollte jedoch beachtet werden, dass die Übereinstimmungsrate je nach Studie unterschiedlich definiert wird, sodass folglich keine direkte Vergleichbarkeit zwischen den meisten Studien besteht. So ermittelte **Wee et al.** in seiner Studie mit der Farbskala VITA Toothguide 3D-MASTER® eine Präzision von 56,67 Prozent [131], wobei jedoch dieser Wert auf den Ergebnissen von drei unterschiedlichen Betrachtern beruht. Bei **Igiel et al.** wurden im Jahr 2017 Werte von 64 Prozent und 48 Prozent für die Farbskalen VITA classical A1-D4® und VITA Toothguide 3D-MASTER® ermittelt [132]. Diese beziehen sich hierbei auf die gemittelten prozentualen Werte jeder einzelnen durchgeführten Messung. Weiterhin lieferten Studien von **Alomari** und **Hugo** für die Farbskala VC einen Wert von 33,4% [85] bzw. 36,7% [133] Übereinstimmung wobei jeder Proband dabei seine eigene Methode zur Bestimmung der Zahnfarbe angewendet hat. Außerdem wurden die Ergebnisse hier mit einer dreiköpfigen Expertenmeinung verglichen, was hinsichtlich der möglichen Objektivität als kritisch zu beurteilen ist. Die im Rahmen dieser Untersuchung ermittelten prozentualen Werte sind zumeist niedriger, was sich sicherlich durch die angewendete Abstufung bei der Ermittlung der Reproduzierbarkeit und damit ein entsprechendes „hartes“ Beurteilungskriterium darstellt, erklären lässt. Das bedeutet entsprechend, dass wenn eine oder zwei von drei Abmusterungen übereinstimmten ging das Ergebnis gleichermaßen als nicht reproduzierbar in die Wertung mit ein. In der Literatur schwankt die Übereinstimmungsrate somit stark und liegt entsprechend zwischen 35 und 75 Prozent [60, 65, 134-136]. Die Ursache für die deutlichen Schwankungen haben noch weiterführende Gründe. So wurden zum Beispiel in einigen Studien statt Kronen oder Zähnen die Farbe von planen Keramikpropen bestimmt [65, 135]. Darüber hinaus ist der direkte Vergleich schwierig, weil

unterschiedliche Lichtquellen und Farbskalen in den unterschiedlichen Untersuchungen zum Einsatz kamen. Diverse Autoren greifen auf bestimmte statistische Analysen und Methoden zurück, wodurch richtige und falsche Übereinstimmungen direkt miteinander verglichen werden können. Für die vorliegende Untersuchung gab es diesbezüglich keine direkten Vergleichswerte, da in der aktuell verfügbaren Literatur noch nie verschiedene visuelle Methoden der Positionierung von Farbmustern einander gegenübergestellt wurden.

Die prozentualen Übereinstimmungsraten der Methoden eins (VC: 45,6%; 3D: 34,4%), zwei (VC: 38,8%; 3D: 27,4%) und drei (VC: 48,2%; 3D: 37,6%) unterscheiden sich signifikant (VC: $p=0,008$; 3D: $p=0,002$), wobei die Ergebnisse farbskalenunabhängig betrachtet werden können, da sich die prozentualen Häufigkeiten zwischen den Farbsystemen analog verhalten. Bemerkenswert ist, dass die Methode drei, bei der das Farbmuster in einem Winkel von 90° direkt rechts neben die Zahnkrone positioniert werden soll, die besten Ergebnisse lieferte.

6.2.2 Diskussion der Farbskalen

Bei dem Vergleich der beiden Farbskalen VITA Toothguide 3D-MASTER® und VITA classical A1-D4® ergeben sich bei der Methode eins ($p < 0,001$), der Methode zwei ($p < 0,001$) und der Methode drei ($p = 0,001$) signifikante Unterschiede in der Reproduzierbarkeit (siehe Abb. 19). Diese Ergebnisse korrelieren mit den Untersuchungen von **Paravina**, der ebenfalls abweichende Übereinstimmungsraten mit denselben beiden Farbskalen beschreibt [8]. Bei der vorliegenden Untersuchung fällt auf, dass die prozentualen Unterschiede zwischen den Skalen bei der Methode 1 (11,2%), der Methode 2 (11,4%) und der Methode 3 (10,6%) fast identisch sind. Demzufolge kann die Häufigkeitsverteilung bezogen auf die unterschiedlichen Methoden als farbskalenunabhängig gewertet werden, wodurch sich die Ergebnisse vermutlich auch auf andere visuelle Farbsysteme übertragen lassen. Dabei ist zu beachten, dass die prozentualen Unterschiede zwischen den untersuchten Farbskalen insbesondere daher zustande kommen könnten, dass den Farbmustern der beiden Farbsysteme zwei unterschiedliche Prinzipien zugrunde liegen. Die Skala VITA classical A1-D4® deckt die statistisch am häufigsten vorkommenden natürlichen Zahnfarben ab, wohingegen die Farbmuster der Farbskala VITA Toothguide 3D-MASTER® mit definierten Abständen im Farbenraum verteilt sind [121]. Genau diese Verteilung erfordert eine erhöhte Anzahl an Farbmustern, weshalb die Farbskala 3D mit 29 Farbmustern einen breiteren Farbbereich und eine gleichmäßigere Farbverteilung umfasst [5, 37, 38, 41] als die Farbskala VC mit nur 16 Farbmustern. Verständlicherweise führt diese erhöhte Anzahl laut **Junker-Malcharek** zu hypothetisch mehr Fehlern bei der Verwendung der Farbskala 3D [125]. Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung bestätigen damit auch experimentell die Aussage von **Junker-Malcharek**, da die beobachtete Reproduzierbarkeit über alle Methoden gemittelt mit der Farbskala VC ein Drittel höher liegt als mit der Skala 3D. Diesbezüglich ist davon auszugehen, dass die Hauptursache der auffälligen Diskrepanz zwischen den Werten der Skala VC und 3D in der Anzahl der Farbmuster begründet liegt. Bei einer geringeren Auswahl verfügbarer Muster war eine höhere Reproduzierbarkeit zu erwarten, wobei dies nicht zwangsläufig im klinischen Alltag zu besseren Ergebnissen führt. Dies wird ersichtlich, da die Abdeckung von natürlichen Zahnfarben bei dem Farbsystem VITA Toothguide 3D-MASTER® mit der erhöhten Anzahl an Farbmustern höher ist als bei dem VITA classical A1-D4® System [9]. Außerdem führt bei der Farbskala VC die Anhäufung von Mustern im

Zentrum des Farbraums dazu, dass sehr helle und sehr dunkle Farbtöne weniger gut abgedeckt sind. In der vorliegenden Untersuchung wurde deshalb die hellste Zahnkrone mit der Farbe 0M1 mangels Alternativen mit der Farbskala VC 2,3mal so häufig als mit der 3D-Master Skala gewählt. Ein weiterer Unterschied zwischen den Farbskalen besteht darin, dass der Prozess der Farbfindung, also die Auswahl des „richtigen“ Farbmusters bei beiden Farbskalen unterschiedlich abläuft. Da jedoch jeder Proband in die Handhabung der Farbsysteme eingeführt und der Farbbestimmung kein zeitliches Limit gesetzt wurde, kann hierbei der Einflussfaktor der Vorgehensweise bei der Farbbestimmung im Hinblick auf die Ergebnisse vernachlässigt werden.

Die Ergebnisse der beiden Farbskalen müssen differenziert betrachtet werden, jedoch ist der Einfluss der unterschiedlichen Farbbestimmungssysteme auf die Verteilung der Häufigkeiten zwischen den Methoden insgesamt als gering einzustufen.

6.2.3 Einfluss des Geschlechts, des Alters und der Berufserfahrung

Geschlecht

Bei der vorliegenden Untersuchung erreichten weibliche sowie männliche Probanden mit der Farbskala VC eine identische Reproduzierbarkeit von 44,2 Prozent. Des Weiteren traten mit der Skala 3D nur geringfügige prozentuale Unterschiede der Übereinstimmung zwischen den Geschlechtern auf (Frauen: 34,1%; Männer: 31%). Selbst zwischen den Methoden eins ($p=0,415$), zwei ($p=0,973$) und drei ($p=0,223$) ergeben sich mit der Farbskala VC gleichermaßen wie mit der Farbskala 3D (Methode eins: $p=0,415$; Methode zwei: $p=0,973$; Methode drei ($p=0,223$)) keine geschlechterspezifischen statistischen Unterschiede. Entgegengesetzt zu unseren Ergebnissen der betrachteten 34 Frauen und 16 Männern, führten **Haddadj et al.** an, dass das Geschlecht bei der visuellen Farbbestimmung eine entscheidende Rolle spielt, da Frauen signifikant besser abschließen als Männer [11]. Grundsätzlich zeigt sich in der Fachliteratur ein ambivalentes Bild über die Rolle der Geschlechter bei der Farbbestimmung. So schreiben diverse Autoren den weiblichen Probanden eine bessere Eignung zu Farben präzise auszuwählen [11, 87-91, 125], demgegenüber stehen aber auch mindestens ebenso viele Publikationen, die genau dies bestreiten [88, 91, 137, 138]. Diesbezüglich existiert zugleich auch ein Konsens vieler Autoren, dass bei der visuellen Farbbestimmung kein signifikanter geschlechtsabhängiger Unterschied vorliegt [10, 80-86, 135, 138-140]. Der einzige Unterschied in der vorliegenden Studie besteht darin, dass Frauen bei der Methode drei die höchsten prozentualen Häufigkeiten aufweisen (siehe Abb. 21), da es sich bei der Farbskala VC jedoch direkt umgekehrt proportional verhält und es bei Männern keine Verteilungsunterschiede zwischen den Methoden gibt, ist ein spezifischer geschlechterabhängiger Unterschied bei dem Vergleich der drei Abmusterungsmethoden nicht auszumachen.

Alter

In der vorliegenden Untersuchung wurden die Probanden in zwei Kohorten unterteilt, die Jüngeren (≤ 30 Jahre, $n=37$) und die Älteren (>30 Jahre, $n=13$). Die Reproduzierbarkeit lag kohortenunabhängig bei beiden Farbskalen auf dem fast gleichen prozentualen Niveau. Die jüngeren Probanden haben über alle Methoden hinweg 44,4 Prozent (VC) und 33,4 Prozent (3D) der Kronenfarben richtig reproduziert, die älteren Probanden 43,6 Prozent (VC) und 32,3 Prozent (3D). Damit konnte weder bei der Skala VC ($p=0,778$) noch bei der Skala 3D ($p=0,687$) ein signifikanter Unterschied ermittelt werden. Unsere Studienergebnisse korrelieren demnach mit den Resultaten von **Faber** [141], **Alomari** und **R.G. Chadwick**, die ebenfalls keine altersabhängigen Unterschiede feststellen konnten [85]. Letztere haben ihre Probanden ähnlich wie in der vorliegenden Untersuchung in Gruppen von unter und über 40 Lebensjahren eingeteilt, somit ist eine gute Vergleichbarkeit der Ergebnisse durch die analoge Methodenauswahl gewährleistet. Derzeit existieren jedoch keine Untersuchungen, bei denen der Einfluss des Alters bezogen auf die verschiedenen Methoden der Positionierung von Farbmustern untersucht wurde. Unsere Studie zeigt, dass die Verteilung der Häufigkeit nur bei jüngeren Probanden zwischen den Methoden mit der Farbskala VC ($p=0,005$) sowie mit der Skala 3D ($p=0,003$) unterschiedlich ist (siehe Abb. 22 u. Abb. 23). Demzufolge hat das Alter der Probanden bezogen auf die unterschiedlichen Methoden einen entscheidenden Einfluss auf die Ergebnisse der Farbbestimmung. Somit ist eine klare übereinstimmende Tendenz erkennbar, wonach die Methode drei die besten Ergebnisse liefert. Schlussfolgernd lässt sich erkennen, dass bei jüngeren Probanden die Verteilungshäufigkeit zwischen den Methoden unterschiedlich ist. Somit reagieren Probanden unter 30 Jahren sensitiver auf die durchgeführte Abmusterungsmethode. Damit jüngere Zahnärzte im klinischen Alltag verlässlichere Farbbestimmungen durchführen können, sollten diese, wenn möglich das Farbmuster entsprechend im 90° Winkel neben den zu bestimmenden Zahn positionieren.

Berufserfahrung

Der Einfluss der Berufs- und Abmusterungserfahrung auf die Zahnfarbbestimmung wurde bereits von diversen Autoren untersucht. Bei der Gegenüberstellung der Ergebnisse der Farbbestimmung zwischen Zahnärzten und Studenten konnten **McMaugh** und **Faber** keine signifikanten Unterschiede festzustellen [91, 141]. **Çapa et al.** hingegen verglich drei Gruppen mit unterschiedlichen Berufen und Spezialisierungen mit dem Ergebnis, dass Zahnärzte, die regelmäßig prothetische und restaurative Zahnheilkunde betreiben eine höhere Übereinstimmungsquote aufwiesen als die Vergleichsgruppen [93]. In der vorliegenden Untersuchung wurden die Probanden in zwei Kohorten eingeteilt, demzufolge wurde eine Kohorte mit einem Jahr oder weniger Berufserfahrung (n=40) einer zweiten Kohorte mit mehr als einem Jahr Berufserfahrung (n=10) gegenübergestellt. Ohne eine genaue Differenzierung der einzelnen Methoden erzielten die Probanden mit weniger Berufserfahrung 44,0 Prozent (VC) und 32,6 Prozent (3D) reproduzierbare Ergebnisse, diejenigen mit mehr Erfahrung erreichten 45,0 Prozent (VC) und 35,3 Prozent (3D). Demzufolge zeigt sich weder für die Farbskala VC ($p=0,755$) noch bei der Farbskala 3D ($p=0,365$) ein signifikanter Unterschied zwischen den Kohorten. Dieses Ergebnis bestätigt die Studien von **Hammad et al.**, **Jasinevicius et al.** und **Curd et al.** die ebenfalls alle den Faktor Erfahrung als nicht signifikant bei der Farbbestimmung einstufen [11, 81, 87]. Betrachtet man jedoch die drei unterschiedlichen Abmusterungsmethoden einzeln, ergibt sich bei der Kohorte mit einem Jahr oder weniger Berufserfahrung mit der Farbskala VC ($p=0,010$) und der Skala 3D ($p=0,001$) ein Unterschied. Dabei weist die Methode drei mit 48,8 Prozent (VC) bzw. 37,5 Prozent (3D) die höchste prozentuale Reproduzierbarkeit auf. Demgegenüber steht die Methode zwei mit der geringsten Übereinstimmung (38,3 Prozent (VC) und 25,5 Prozent (3D)). Interessanterweise ist hierbei der Unterschied bei Probanden mit mehr als einem Jahr Berufserfahrung zwischen den einzelnen Methoden mit beiden Farbskalen nicht signifikant. Dies deutet daraufhin, dass ältere Probanden, die über mehr Erfahrung verfügen sich von der Abmusterungsmethode weniger stark beeinflussen lassen. Es ist davon auszugehen, dass mit steigender Berufserfahrung die Abmusterungsmethode an Bedeutsamkeit verliert. Eine mögliche Erklärung für die erfahrungsbedingten Unterschiede in der vorliegenden Untersuchung der Kohorten könnte der Abstand zwischen dem Farbmuster und der Zahnkrone sein. Da alle Probanden die bestmögliche farbliche Übereinstimmung finden sollten, indem sie

das mittlere Drittel der Zahnkrone [123,142] mit dem mittleren Drittel des Farbmusters verglichen, wurde jedoch der Abstand bei jeder Methode verändert. Hierbei liegen die zu vergleichenden Areale bei der Methode drei laut Satz des Pythagoras ca. 30 Prozent näher beieinander als bei der Methode eins. Demzufolge könnte möglicherweise die vergrößerte Entfernung der zu bestimmenden Bereiche zu Fehlern geführt haben. Die Abstände genau dieser Bereiche verhalten sich umgekehrt proportional zu den Übereinstimmungsraten der jeweiligen Methoden (Methode eins: 8mm/34,6%; Methode zwei: 10mm/25,5%; Methode drei: 5,6mm/37,5%). Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass der Abstand zwischen Objekt und Farbmuster bei der visuellen Farbbestimmung bei jüngeren Probanden ein wichtiger Faktor darstellt. Gegensätzlich dazu erzielten in der vorliegenden Untersuchung die Probanden mit mehr Berufserfahrung gleichmäßigere reproduzierbare Ergebnisse. Eine Erklärung dafür liefern **Okubo et al.**, **Hammad** und **Paravina et al.**, die feststellten, dass die Berufserfahrung ein positiver Faktor bei der Zahnfarbbestimmung darstellt [60, 94, 95].

Vergleicht man die Ergebnisse beider Farbskalen, die das Alter und die Berufserfahrung beinhalten, wird deutlich, dass nur diejenigen mit geringer Berufserfahrung und einem Alter von unter 30 Jahren (VC: $p=0,009$, 3D: $p=0,001$) statistisch unterschiedliche Häufigkeitsverteilungen zwischen den Methoden aufweisen. Demgegenüber zeigen die Probanden mit mehr Berufserfahrung und einem Alter über 30 Jahren die geringsten prozentualen Unterschiede (vergl. Abb. 26 u. 27). Demzufolge hat die Berufserfahrung einen entscheidenden Einfluss auf die unterschiedlichen Methoden der Positionierung von Farbmustern.

Die insgesamt höchste prozentuale Häufigkeit liefern interessanterweise die jüngeren Probanden mit mehr als einem Jahr Berufserfahrung. So ergibt sich für die Skala VC einen Wert von 50 Prozent bei der Methode eins und für die Skala 3D einen Wert von 42 Prozent bei der Methode drei (siehe Abb. 26 und 27.). Ein Grund für die höhere Reproduzierbarkeit von jüngeren Probanden mit mehr Berufserfahrung könnte sein, dass sich die Augenlinse ab dem 30. Lebensjahr gelblich verfärbt [98], wodurch sich die Farbwahrnehmung von Weiß in Richtung Gelb verschiebt und somit die Farbbestimmung erschwert.

6.2.4 Einfluss der Kronenfarbe

Die Kronenfarbe hatte in der vorliegenden Arbeit einen Einfluss auf die Reproduzierbarkeit. Hinsichtlich der Verteilung der Häufigkeit der reproduzierbar bestimmten Kronenfarben sind mit der Farbskala VC ($p < 0,001$) und der Farbskala 3D ($p < 0,001$) statistische Unterschiede diesbezüglich festzustellen. Die mit Abstand größte Häufigkeit erreichten die Probanden mit der Farbskala VC bei den hellen Farben 0M1 (125), 1M1 (130) und 1M2 (114). Mit der Farbskala 3D erreichten ebenfalls Farben 1M1(100) und 1M2 (98) die höchsten Werte. Dass hellere Farben von Probanden besser bestimmt werden, zeigte **Igiel et al.** mit den ebenfalls genutzten Farbskalen VC und 3D. Bei den dort untersuchten zehn unterschiedlichen Kronenfarben wiesen die fünf hellsten signifikant höhere Übereinstimmungen auf [132]. Eine Erklärung für die Diskrepanz der Reproduzierbarkeit der Kronenfarben liefern die Farbskalen Insbesondere die Farbskala VC kann die sehr hellen Farben 0M1 und 1M1 nicht adäquat abbilden, sodass den Probanden keine Unterscheidung möglich war und somit vermutlich das hellste vorhandene Farbmuster ausgesucht wurde. Diesbezüglich waren die Ergebnisse mit der Farbskala 3D bei helleren Farben gleichmäßiger (vergl. Abb. 28), da die Farbskala einen breiteren Farbbereich umfasst und dadurch eine gleichmäßigere Farbverteilung aufweist [5, 37, 38, 41]. In der Abbildung 29 und 30 ist zu erkennen, dass der übrige Verlauf der Häufigkeiten der reproduzierbar bestimmten Kronenfarben mit beiden Skalen und bei allen drei Methoden fast simultan verläuft. Das macht deutlich, dass die Kronenfarbe einen methodenunabhängigen Einfluss auf die Reproduzierbarkeit aufweist. Folglich sollte der Farbskala 3D bei der Bestimmung sehr heller Zahnfarben durch den breiteren Farbbereich der Vorzug gegeben werden.

6.2.5 Instrumentelle Farbbestimmung

Die instrumentelle Farbbestimmung erfolgte mithilfe des Spektralphotometers VITA Easyshade® V. Die Reproduzierbarkeit lag bei der angezeigten VITA classical Farbe bei 99 Prozent und bei der 3D-Master Farbe bei 94 Prozent. Somit liegt ein signifikanter Unterschied ($p < 0,05$) zugunsten einer besseren Reproduzierbarkeit der instrumentellen Farbbestimmung im Vergleich zur visuellen Farbbestimmung vor. Abgesehen von einer Ausnahme [133] zeigen andere Autoren konforme Ergebnisse mit unseren [58, 113, 144, 145]. So konnten **Gehrke et al.**, **Da Silva et al.** und **Browning et al.** in der Gegenüberstellung von herkömmlichen Methoden der visuellen Zahnfarbbestimmungen und der spektralphotometrischen Farbanalyse, letztere eine höhere Reproduzierbarkeit zusprechen [33, 112, 143]. Lediglich in einer Untersuchung erzielten die Probanden mit einer 40,2- prozentigen Übereinstimmung eine höhere Reproduzierbarkeit im Vergleich zur instrumentellen Messung (28,6%, 33,2% und 27%) [133]. Ein Grund für die höhere Reproduzierbarkeit der instrumentellen Farbbestimmung kann unter anderem die Unabhängigkeit des Spektralphotometers VITA Easyshade® V von äußerlichen Faktoren, wie beispielsweise der Lichtquelle, sein [113]. Dennoch führen Anwendungsfehler, wie eine inkorrekte Positionierung und Angulation der elektronischen Messspitze zu einer deutlichen Minderung der Zuverlässigkeit der instrumentellen Messung [73, 79]. Zudem ist das Areal zur elektronischen Farbbestimmung auf den Durchmesser der Messspitze des Spektralphotometers von circa 5 mm begrenzt, womit konsekutive Farbverläufe innerhalb einer Zahnkrone nicht erfasst werden können. Dadurch könnte die reelle Darstellung der Zahnkrone nicht ausreichend widerspiegelt werden, da die natürliche Zahnfarbe nicht nur eine Farbe enthält, sondern vielmehr einem Zusammenspiel aus mehreren Farbtönen unterliegt. Bei der visuellen Farbbestimmung ermöglicht das menschliche Auge die Erkennung heterogener Anteile jedes einzelnen Farbmusters bzw. jeder Keramikrestauration, womit Variationen in Transluzenz und Farbton beschrieben werden können [7]. Obwohl die Probanden bei der visuellen Farbnahme darauf hingewiesen wurden, das mittlere Drittel der Zahnkrone mit dem mittleren Drittel des Farbmusters zu vergleichen, ist davon auszugehen, dass hier unbewusst der Abgleich der gesamten Restauration vorgenommen wurde. Insbesondere dieser Unterschied zwischen einerseits dem geringen Betrachtungsfeld des Spektralphotometers und andererseits dem größerem

Betrachtungsfeldes des menschlichen Auges, ist ein zentraler Faktor für die hohen Schwankungen der Werte zwischen visueller und instrumenteller Farbbestimmung. Es sollte jedoch bedacht werden, dass eine hohe Reproduzierbarkeit nicht mit einer korrekten Farbwahl gleichzusetzen ist, sondern lediglich den Wiedererkennungswert eines Farbmusters widerspiegelt. Klinisch bestätigte sich dies dadurch, dass die ausgewählte Farbe derselben Keramikrestauration je nach Messmethodik (visuell versus instrumentell) teilweise stark differiert. Es besteht wissenschaftlicher Konsens darüber, dass erfahrenen Zahntechnikern mithilfe der visuellen Farbbestimmung die beste Eignung zur korrekten Farbauswahl zugesprochen wird [65, 146-148]. Mitunter kann eine teilweise ungenügende Farbabdeckung der Farbskalen mit der Berufserfahrung der Zahntechniker kompensiert werden.

Schlussfolgernd ist zu sagen, dass die instrumentelle Farbbestimmung, bezogen auf die Reproduzierbarkeit, der visuellen überlegen ist.

7. Zusammenfassung

Das Ziel der vorliegenden Untersuchung war die Evaluation des Einflusses der Positionierung von Farbmustern auf die Reproduzierbarkeit des Ergebnisses im Rahmen der dentalen Farbnahme und die Gegenüberstellung dieser Ergebnisse mit der instrumentellen Farbbestimmung. Dabei wurden zwei kommerziell erhältliche dentale Farbringsysteme (VITA Toothguide 3D-MASTER® und VITA classical A1-D4®) ausgewählt, welche eine sehr hohe Marktdurchdringung aufweisen und mithilfe derer die Farben von zehn vorgefertigten Keramikronen unter standardisierten Bedingungen bestimmt wurden. Insgesamt nahmen 50 approbierte Zahnärzte an der Studie teil, die an insgesamt an 150 Terminen 9000 Kronenfarben ermittelten. Die zehn Zahnrestorationen wurden zusätzlich mit dem Spektralphotometer VITA Easyshade® V elektronisch evaluiert und dem visuellen Farbabgleich gegenübergestellt.

Jede einzelne Farbbestimmung wurde mit drei unterschiedlichen Positionen durchgeführt und die Ergebnisse der reproduzierbar bestimmten Farben mit der durchgeführten Methode verglichen. Die Reproduzierbarkeit der Messungen unterscheidet sich hierbei je nach Methode bei beiden Farbskalen signifikant (VC: $p=0,008$; 3D: $p=0,002$). Die höchste Reproduzierbarkeit wurde simultan mit beiden Farbskalen mit der Positionierung des Farbmusters im 90° Winkel rechts neben der Zahnkrone (Methode 3) erzielt, entsprechend 48,2 Prozent (VC) bzw. 37,6 Prozent (3D). Dahingegen ergab die Positionierung des Farbstäbchens Schneidekante an Schneidekante (Methode 2) den geringsten Wiedererkennungswert mit 38,8 Prozent (VC) und 27,4 Prozent (3D).

Außerdem wurden hellere Kronenfarben mit beiden Farbskalen deutlich besser reproduziert als dunklere (VC: $p<0,001$; 3D: $p<0,001$). Im Rahmen dieser Untersuchung wurden mögliche Einflussfaktoren auf die Farbbestimmung weitestgehend durch einen standardisierten Versuchsaufbau reduziert, so dass die betrachterabhängigen Einflussfaktoren evaluiert werden konnten. Das Geschlecht der Probanden (34 Frauen und 16 Männer), als Einflussfaktor auf die Ergebnisse erwies sich als vernachlässigbar, da bei beiden Farbskalen keine signifikanten Unterschiede zwischen Männern und Frauen festgestellt werden konnten. Im Gegensatz dazu scheint das Alter der Untersuchenden eine wesentliche Rolle zu spielen. Während bei jüngeren Probanden unter 30 Jahren, methodenabhängig statistische Unterschiede festgestellt werden konnten (VC: $p=0,005$; 3D: $p=0,003$), war dies bei

älteren Probanden (>30Jahre) nicht der Fall. Diese reagierten entsprechend weniger sensitiv auf die Methodenwahl. Weiterhin beeinflusst die Berufserfahrung die Reproduzierbarkeit der einzelnen Methoden. Eine geringere Berufserfahrung korrelierte, je nach Methode mit statistisch unterschiedlichen Ergebnissen (VC: $p=0,010$; 3D: $p=0,001$). Hierbei lieferte ebenfalls die Methode drei mit 48,8 Prozent (VC) bzw. 37,5 Prozent (3D) die reproduzierbarsten Ergebnisse. Zusammenfassend lässt sich folgern, dass der Einfluss der Positionierung von Farbmustern auf die Reproduzierbarkeit des Ergebnisses bei den Probanden mit weniger Berufserfahrung und geringerem Alter am größten ist ($p=0,009$). Gleichsam verliert mit steigender Berufserfahrung die Abmusterungsmethode an Bedeutsamkeit. Vor allem junge Zahnärzte mit weniger als einem Jahr Berufserfahrung reagieren sehr sensitiv auf die unterschiedlichen Methoden. Durch die hohe klinische Aussagekraft der Ergebnisse ist es jüngeren Zahnärzten mit weniger als einem Jahr Berufserfahrung anzuraten die visuelle Farbbestimmung mit wenn möglich mit 90° angulierten Farbmustern, oder in mindestens zwei verschiedenen Positionen durchzuführen. Ebenfalls gilt es zu beachten, dass die Methode, bei der die Probanden die Schneide des Farbmuster an die Schneide der Restauration hielten, die niedrigste Übereinstimmungen erzielte. Diese Farbbestimmungsmethode sollte wegen der geringen Reproduzierbarkeit auch im klinischen Alltag nicht durchgeführt werden. Vergleicht man die Werte der visuellen mit der der instrumentellen Farbbestimmung, fällt auf, dass die Werte der instrumentellen Messung mit 99 Prozent (VITA classical Farbe) und 94 Prozent (3D-Master Farbe) eine deutlich höhere Reproduzierbarkeit aufweisen ($p<0,05$).

Im Hinblick auf die Tatsache, dass im Zuge der aktuellen Entwicklung die Herstellung von laborgefertigtem Zahnersatz eine Zentralisierung und Verlagerung ins Ausland zu beobachten ist, macht eine zuverlässige Farbbestimmung seitens des Zahnarztes unerlässlich. Die vorliegende Studie zeigt, dass die Methode der visuellen Abmusterung einen signifikanten Einfluss auf die Reproduzierbarkeit der dentalen Farbbestimmung hat. Vor allem junge, unerfahrene Zahnärzte können bei der visuellen Abmusterung höhere reproduzierbare Werte erzielen, wenn das Farbmuster im 90° -Winkel neben den zu bestimmenden Zahn gehalten wird. In dieser in-vitro Studie haben die Schneide an Schneide Abmusterungen bei fast allen Beobachtungen geringere reproduzierbare Werte geliefert. Es liegt nahe, dass die Ergebnisse dieser Studie vor dem Hintergrund des Studiendesigns auch auf den klinischen Alltag der Zahnärzte übertragbar sind. Ferner könnte jedoch in

weiterführenden Studien untersucht werden, inwieweit der Abstand der zu vergleichenden Objekte die Reproduzierbarkeit der Ergebnisse beeinflusst.

8. Literaturverzeichnis

1. Bangtson, L.K. and R.J. Goodkind, *The conversion of Chromascan designations to CIE tristimulus values*. J Prosthet Dent, 1982. 48(5): p. 610-7.
2. Setz, J., J. Geis-Gerstorfer, and H. Weber, [*Objective tooth color determination. Error source elimination*]. Dent Labor (Munch), 1992. 40(4): p. 667-8, 670.
3. Corcodel, N., et al., *Estimating costs for shade matching and shade corrections of fixed partial dentures for dental technicians in Germany: a pilot investigation*. Acta Odontol Scand, 2011. 69(5): p. 319-20.
4. Touyz, L.Z., E. Raviv, and M. Harel-Raviv, *Cosmetic or esthetic dentistry?* Quintessence Int, 1999. 30(4): p. 227-33.
5. Paravina, R.D., *Critical appraisal. Color in dentistry: match me, match me not*. J Esthet Restor Dent, 2009. 21(2): p. 133-9.
6. Paravina, R.D., *Commentary. Spectrophotometric analysis of tooth color reproduction on anterior all-ceramic crowns: Part 1: analysis and interpretation of tooth color, Part 2: color reproduction and its transfer from in vitro to in vivo*. J Esthet Restor Dent, 2010. 22(1): p. 64-5.
7. Della Bona, A., et al., *Visual and instrumental agreement in dental shade selection: three distinct observer populations and shade matching protocols*. Dent Mater, 2009. 25(2): p. 276-81.
8. Paravina, R.D., *Performance assessment of dental shade guides*. J Dent, 2009. 37 Suppl 1: p. e15-20.
9. Ongul, D., B. Sermet, and M.C. Balkaya, *Visual and instrumental evaluation of color match ability of 2 shade guides on a ceramic system*. J Prosthet Dent, 2012. 108(1): p. 9-14.
10. Poljak-Guberina, R., et al., *Colour discrimination of dental professionals and colour deficient laypersons*. J Dent, 2011. 39 Suppl 3: p. e17-22.
11. Haddad, H.J., et al., *Does gender and experience influence shade matching quality?* J Dent, 2009. 37 Suppl 1: p. e40-4.
12. Milagres, V., et al., *Effect of gender, experience, and value on color perception*. Oper Dent, 2012. 37(3): p. 228-33.
13. Clary, J.A., et al., *Influence of light source, polarization, education, and training on shade matching quality*. J Prosthet Dent, 2016. 116(1): p. 91-7.
14. Musil, R. and H. Kittler, [*Objective assessment of color determination in prosthetics*]. Zahn Mund Kieferheilkd Zentralbl, 1983. 71(5): p. 477-84.
15. Goodkind, R.J. and W.B. Schwabacher, *Use of a fiber-optic colorimeter for in vivo color measurements of 2830 anterior teeth*. J Prosthet Dent, 1987. 58(5): p. 535-42.
16. Schwabacher, W.B. and R.J. Goodkind, *Three-dimensional color coordinates of natural teeth compared with three shade guides*. J Prosthet Dent, 1990. 64(4): p. 425-31.
17. Cook, R.J.G., MI, USA, *A guide to understanding color communication*. 2000.
18. Billmeyer, F.W. and M. Saltzman, *Grundlagen der Farbtechnologie*. 1993: Muster-Schmidt.
19. Chu, S.J., *Dentale Farbenlehre*. 2005: Quintessenz Verlags-GmbH Berlin.
20. Lax, E. and C. Synowietz, *D'Ans Lax Taschenbuch für Chemiker und Physiker*. 1967, Springer Verlag: Berlin.
21. Schmitt, R.F., G. Thews, and F.J.S.g.-V. Lang, Berlin Heidelberg New York, *Physiologie des Menschen*. 2000. 21.
22. Meyers, *Horizontalschnitt durch das menschliche Auge*. Konversationslexikon 1888: Konversationslexikon 1888. p. Diese Abbildung stammt aus der 4. Auflage des Meyers Konversationslexikons (1885–90). Das Urheberrecht ist erloschen, die Inhalte sind gemeinfrei.
23. Deetjen, P., E. Speckmann, and J. Hescheler, *Physiologie*. Urban&Fischer. 2005, München.

24. Golenhofen, K., *Physiologie heute: Lehrbuch; Kompendium; Fragen und Antworten*. 2000: Urban.
25. Munsell, A.H., T. Cleland, and F. Birren, *A grammar of color: a basic treatise on the color system of Albert H. Munsell*. 1969: Van Nostrand Reinhold.
26. tsiaojian_lee, *Munsell Color System*, Munsell_Color.jpg, Editor. 2006. p. I, the copyright holder of this work, release this work into the public domain. This applies worldwide.
27. Sproull, R.C.J.T.J.o.p.d., *Color matching in dentistry. Part I. The three-dimensional nature of color*. 1973. 29(4): p. 416-424.
28. Kielbassa, A.M., et al., *In vitro comparison of visual and computer-aided pre- and post-tooth shade determination using various home bleaching procedures*. J Prosthet Dent, 2009. 101(2): p. 92-100.
29. Enoch, J.M., et al., *Forever young: visual functions not affected or minimally affected by aging: a review*. 1999. 54(8): p. B336-B351.
30. Seghi, R.R., W.M. Johnston, and W.J.J.o.P.D. O'brien, *Spectrophotometric analysis of color differences between porcelain systems*. 1986. 56(1): p. 35-40.
31. Everding, H., *CIELAB Farbraum von vorn.*, C.c.s.f. view.png, Editor. 2015.
32. Hugo, B., T. Witzel, and B.J.C.O.I. Klaiber, *Comparison of in vivo visual and computer-aided tooth shade determination*. 2005. 9(4): p. 244-250.
33. Da Silva, J.D., et al., *Clinical performance of a newly developed spectrophotometric system on tooth color reproduction*. J Prosthet Dent, 2008. 99(5): p. 361-8.
34. Brandt, J., et al., *In vivo study for tooth colour determination-visual versus digital*. Clin Oral Investig, 2017. 21(9): p. 2863-2871.
35. Paravina, R.D., et al., *Teaching of color in predoctoral and postdoctoral dental education in 2009*. J Dent, 2010. 38 Suppl 2: p. e34-40.
36. Chu, S.J., R.D. Trushkowsky, and R.D. Paravina, *Dental color matching instruments and systems. Review of clinical and research aspects*. J Dent, 2010. 38 Suppl 2: p. e2-16.
37. Paravina, R.D., J.M. Powers, and R.-M.J.I.j.o.p. Fay, *Color comparison of two shade guides*. 2002. 15(1).
38. Paravina, R.D., et al., *Dental color standards: shade tab arrangement*. 2001. 13(4): p. 254-263.
39. Paravina, R.D., et al., *New shade guide for evaluation of tooth whitening—Colorimetric study*. 2007. 19(5): p. 276-283.
40. Paravina, R.D., et al., *Optimization of tooth color and shade guide design*. 2007. 16(4): p. 269-276.
41. Analoui, M., et al., *Designing visually optimal shade guides*. 2004. 92(4): p. 371-376.
42. Li, Q., H. Yu, and Y.J.J.o.o.r. Wang, *In vivo spectroradiometric evaluation of colour matching errors among five shade guides*. 2009. 36(1): p. 65-70.
43. für fehlerfreie Farbbestimmung, H.G.T.J.H. and C.D. Engineering, *Basel: Dr*. 1999.
44. Yamamoto, M.J.C.Q., *Metal-ceramics*. 1985: p. 268-02.
45. Clark, E.B.J.T.J.o.t.A.D.A., *Tooth color selection*. 1933. 20(6): p. 1065-1073.
46. Hunter, R.S. and R.W. Harold, *The measurement of appearance*. 1987: John Wiley & Sons.
47. Devigus, A. and G.J.I.j.o.c.d. Lombardi, *Shading Vita YZ substructures: influence on value and chroma, part I*. 2004. 7(3): p. 293-301.
48. Chu, S.J., A. Devigus, and A.J. Mielezsko, *Fundamentals of color: shade matching and communication in esthetic dentistry*. 2004: Quintessence Publishing Company.
49. Douglas, R.D. and J.D.J.T.J.o.p.d. Brewer, *Variability of porcelain color reproduction by commercial laboratories*. 2003. 90(4): p. 339-346.
50. Sproull, R.C.J.T.J.o.p.d., *Color matching in dentistry. Part II. Practical applications of the organization of color*. 1973. 29(5): p. 556-566.
51. Sproull, R.C.J.J.o.P.D., *Color matching in dentistry. Part III. Color control*. 1974. 31(2): p. 146-154.
52. Wyszecki, G.t. and W.S. Stiles, *Color science: concepts and methods, quantitative data and formulae*. 1982: John Wiley & Sons New York, NY.

53. Berns, R.S., *Billmeyer and Saltzman's principles of color technology*. 2019: John Wiley & Sons.
54. Klemetti, E., et al., *Shade selection performed by novice dental professionals and colorimeter*. 2006. 33(1): p. 31-35.
55. Goodkind, R.J., K.M. Keenan, and W.B.J.J.o.P.D. Schwabacher, *A comparison of Chromascan and spectrophotometric color measurements of 100 natural teeth*. 1985. 53(1): p. 105-109.
56. Macentee, M. and R.J.J.o.o.r. Lakowski, *Instrumental colour measurement of vital and extracted human teeth*. 1981. 8(3): p. 203-208.
57. Đozic, A., et al., *Relation in color of three regions of vital human incisors*. 2004. 20(9): p. 832-838.
58. Paul, S., et al., *Visual and spectrophotometric shade analysis of human teeth*. 2002. 81(8): p. 578-582.
59. Bangtson, L.K. and R.J.J.J.o.P.D. Goodkind, *The conversion of Chromascan designations to CIE tristimulus values*. 1982. 48(5): p. 610-617.
60. Okubo, S.R., et al., *Evaluation of visual and instrument shade matching*. 1998. 80(6): p. 642-648.
61. Lund, P.S., S.A. Aquilino, and D.L.J.I.J.o.P. Dixon, *Evaluation of the color and appearance of a new textured opaque porcelain*. 1991. 4(6).
62. Douglas, R.D. and J.D.J.T.J.o.p.d. Brewer, *Acceptability of shade differences in metal ceramic crowns*. 1998. 79(3): p. 254-260.
63. Douglas, R.D. and M.J.T.J.o.p.d. Przybylska, *Predicting porcelain thickness required for dental shade matches*. 1999. 82(2): p. 143-149.
64. Ten Bosch, J. and J.J.J.o.d.r. Coops, *Tooth color and reflectance as related to light scattering and enamel hardness*. 1995. 74(1): p. 374-380.
65. Wee, A.G., P. Monaghan, and W.M.J.T.J.o.p.d. Johnston, *Variation in color between intended matched shade and fabricated shade of dental porcelain*. 2002. 87(6): p. 657-666.
66. Brandt, J., et al., *In vivo study for tooth colour determination—visual versus digital*. 2017. 21(9): p. 2863-2871.
67. Mehl, A., et al., *In vivo tooth-color measurement with a new 3D intraoral scanning system in comparison to conventional digital and visual color determination methods*. 2017. 20(4): p. 343-361.
68. Paul, S., et al., *Visual and spectrophotometric shade analysis of human teeth*. J Dent Res, 2002. 81(8): p. 578-82.
69. Kim-Pusateri, S., et al., *Reliability and accuracy of four dental shade-matching devices*. 2009. 101(3): p. 193-199.
70. Dozić, A., et al., *Performance of five commercially available tooth color-measuring devices*. 2007. 16(2): p. 93-100.
71. Yuan, J.C.-C., et al., *Defining a natural tooth color space based on a 3-dimensional shade system*. The Journal of prosthetic dentistry, 2007. 98(2): p. 110-119.
72. Paravina, R., et al., *Development of a model shade guide for primary teeth*. 2008. 9(2): p. 74-78.
73. Lehmann, K.M., et al., *Repeatability of color-measuring devices*. 2011. 6(4): p. 428-35.
74. Lagouvardos, P.E., et al., *Repeatability and interdevice reliability of two portable color selection devices in matching and measuring tooth color*. 2009. 101(1): p. 40-45.
75. Khurana, R., et al., *A clinical evaluation of the individual repeatability of three commercially available colour measuring devices*. Br Dent J, 2007. 203(12): p. 675-80.
76. Hannak WB, J.H., Klinke T, Böning K, Pirek P, Beuer F, *Reproducibility and accuracy of measuring results of VITA Easyshade Advance*. J Dent Res 95 2016. (Spec Iss A), C1596
77. Jarad, F., M. Russell, and B.J.B.d.j. Moss, *The use of digital imaging for colour matching and communication in restorative dentistry*. 2005. 199(1): p. 43.
78. Ishikawa-Nagai, S., et al., *Reproducibility of tooth color gradation using a computer color-matching technique applied to ceramic restorations*. 2005. 93(2): p. 129-137.
79. Igiel, C., et al., *Dental color matching: A comparison between visual and instrumental methods*. Dent Mater J, 2016. 35(1): p. 63-9.

80. Paravina, R.D., *Evaluation of a newly developed visual shade-matching apparatus*. Int J Prosthodont, 2002. 15(6): p. 528-34.
81. Jasinevicius, T.R., et al., *Shade-matching abilities of dental laboratory technicians using a commercial light source*. 2009. 18(1): p. 60-63.
82. Barna, G.J., et al., *The influence of selected light intensities on color perception within the color range of natural teeth*. 1981. 46(4): p. 450-453.
83. Davison, S. and N.J.T.J.o.p.d. Myslinski, *Shade selection by color vision-defective dental personnel*. 1990. 63(1): p. 97-101.
84. Lagouvardos, P., et al., *Effect of individual shades on reliability and validity of observers in colour matching*. 2004. 12: p. 51-56.
85. Alomari, M. and R.G. Chadwick, *Factors influencing the shade matching performance of dentists and dental technicians when using two different shade guides*. Br Dent J, 2011. 211(11): p. E23.
86. Bahannan, S.A., *Shade matching quality among dental students using visual and instrumental methods*. J Dent, 2014. 42(1): p. 48-52.
87. Curd, F.M., et al., *Comparison of the shade matching ability of dental students using two light sources*. 2006. 96(6): p. 391-396.
88. Donahue, J.L., et al., *Shade color discrimination by men and women*. 1991. 65(5): p. 699-703.
89. Winkler, S., et al., *Shade matching by dental students*. 2006. 32(5): p. 256-258.
90. Hassel, A.J., et al., *Clinical effect of different shade guide systems on the tooth shades of ceramic-veneered restorations*. 2005. 18(5).
91. McMaugh, D.J.A.D.J., *A comparative analysis of the colour matching ability of dentists, dental students, and ceramic technicians*. 1977. 22(3): p. 165-167.
92. Lehmann, K.M., et al., *Four color-measuring devices compared with a spectrophotometric reference system*. J Dent, 2010. 38 Suppl 2: p. e65-70.
93. Çapa, N., E. Kazazoğlu, and S.J.T.J.o.t.A.D.A. Çalikocaoğlu, *Evaluating factors that affect the shade-matching ability of dentists, dental staff members and laypeople*. 2010. 141(1): p. 71-76.
94. Hammad, I.A., *Intrarater repeatability of shade selections with two shade guides*. J Prosthet Dent, 2003. 89(1): p. 50-3.
95. Paravina, R.D., et al., *Teaching of color in predoctoral and postdoctoral dental education in 2009*. 2010. 38: p. e34-e40.
96. Ristic, I., S. Stankovic, and R.D. Paravina, *Influence of Color Education and Training on Shade Matching Skills*. J Esthet Restor Dent, 2016. 28(5): p. 287-294.
97. Alsaleh, S., et al., *Evaluation of self shade matching ability of dental students using visual and instrumental means*. J Dent, 2012. 40 Suppl 1: p. e82-7.
98. Kamkar, T., *Funktionelle Ergebnisse nach Implantation von drei Intraokularlinsentypen unter besonderer Berücksichtigung der Kontrastsensitivität und Blendempfindlichkeit*. 2011.
99. Brewer, J.D., A. Wee, and R.J.D.C.o.N.A. Seghi, *Advances in color matching*. 2004. 48(2): p. v, 341-58.
100. Gürel, G., *keramikveneers als Wissenschaft und Kunst*. 2019: Quintessence Publishing.
101. Faber, F.J.D.Z., *Die Bestimmung der Zahnfarbe*. 2002(2002): p. 57.
102. Sorensen, J.A. and T.J.J.T.J.o.p.d. Torres, *Improved color matching of metal-ceramic restorations. Part I: A systematic method for shade determination*. 1987. 58(2): p. 133-139.
103. Russell, M., M. Gulfranz, and B.J.J.o.O.R. Moss, *In vivo measurement of colour changes in natural teeth*. 2000. 27(9): p. 786-792.
104. Dudea, D., et al., *Influence of background/surrounding area on accuracy of visual color matching*. Clin Oral Investig, 2016. 20(6): p. 1167-73.
105. Pensler, A.J.C.o.c.e.i.d., *Shade selection: problems and solutions*. 1998. 19(4): p. 387-90, 392-4, 396; quiz 398.
106. Ahn, J.-S. and Y.-K.J.D.m. Lee, *Difference in the translucency of all-ceramics by the illuminant*. 2008. 24(11): p. 1539-1544.
107. Miller, L.J.T.J.o.t.A.D.A., *Organizing color in dentistry*. 1987. 115: p. 26E-40E.

108. Bunting, F.J.L.S.C.I., *The colorshop color primer*. 1998.
109. Küppers, H., *Farbenlehre*. 2005: DuMont.
110. Setz, J., J. Geis-Gerstorfer, and H.J.D.L. Weber, *Objektive Zahnfarbbestimmung–Fehlerquellen werden ausgeschaltet*. 1992. 4: p. 667-670.
111. Li, Q., H. Yu, and Y.N. Wang, *In vivo spectroradiometric evaluation of colour matching errors among five shade guides*. J Oral Rehabil, 2009. 36(1): p. 65-70.
112. Gehrke, P., et al., *Comparison of in vivo visual, spectrophotometric and colorimetric shade determination of teeth and implant-supported crowns*. 2009. 12(3): p. 247-63.
113. Paul, S.J., et al., *Conventional visual vs spectrophotometric shade taking for porcelain-fused-to-metal crowns: a clinical comparison*. 2004. 92(6): p. 577.
114. Corcodel, N., et al., *Effect of external light conditions during matching of tooth color: an intraindividual comparison*. 2009. 22(1).
115. Tsita, V., *Der Einfluss einer künstlichen Lichtquelle auf die Qualität der dentalen Farbbestimmung*. 2013.
116. Tsita, V., et al., *Der Einfluss einer künstlichen Lichtquelle auf die Qualität der dentalen Farbbestimmung–Teilergebnisse*. 2013. 122(07/08): p. 350-355.
117. Strub, J.R., *Curriculum Prothetik*. 1994: Quintessenz-Verl.
118. Klein, G.A., *Farbenphysik für industrielle Anwendungen*. 2004: Springer.
119. Goodkind, R.J. and M.J.J.T.J.o.p.d. Loupe, *Teaching of color in predoctoral and postdoctoral dental education in 1988*. 1992. 67(5): p. 713-717.
120. Hassan, A., *Effect of age on colour of dentition of Baghdad patients*. 2000.
121. Andres Baltzer, V.K.-J., *Die Bestimmung der Zahnfarben*. 2004.
122. KG, V.Z.H.R.G.C. *VITA Easyshade V Betriebsanleitung*. 2019.
123. Igiel, C., et al., *Reliability of visual and instrumental color matching*. J Esthet Restor Dent, 2017. 29(5): p. 303-308.
124. Faber, F. and G.J.D.Z. Schlegel, *Visuelle und messtechnische Zuordnung der Zahnfarbe*. 1995(1995): p. 50.
125. Junker-Malcharek, A. and K.J.D.Z. Kroszewsky, *Farbbestimmung mit der Vitapan classical und Vitapan 3D-Master Farbskala im Vergleich*. 2002(2002): p. 57.
126. Knispel, G.J.Q.i., *Factors affecting the process of color matching restorative materials to natural teeth*. 1991. 22(7).
127. Marxkors, R. and H. Meiners, *Taschenbuch der zahnärztlichen Werkstoffkunde Carl Hanser, München Wien, 4. neu bearb.* 1993, Auflage.
128. Ratzmann, A., et al., *Experimental investigations into visual and electronic tooth color measurement*. 2011. 56(2): p. 115-122.
129. Chu, S.J., R.D. Trushkowsky, and R.D.J.J.o.d. Paravina, *Dental color matching instruments and systems. Review of clinical and research aspects*. 2010. 38: p. e2-e16.
130. Tung, F.F., et al., *The repeatability of an intraoral dental colorimeter*. 2002. 88(6): p. 585-590.
131. Wee, A.G., et al., *Evaluating porcelain color match of different porcelain shade-matching systems*. 2000. 12(5): p. 271-280.
132. Igiel, C., et al., *Reliability of visual and instrumental color matching*. 2017. 29(5): p. 303-308.
133. Hugo, B., T. Witzel, and B. Klaiber, *Comparison of in vivo visual and computer-aided tooth shade determination*. Clin Oral Investig, 2005. 9(4): p. 244-50.
134. Gokce, H.S., et al., *Shade matching performance of normal and color vision-deficient dental professionals with standard daylight and tungsten illuminants*. J Prosthet Dent, 2010. 103(3): p. 139-47.
135. Barrett, A.A., et al., *Influence of tab and disk design on shade matching of dental porcelain*. 2002. 88(6): p. 591-597.
136. Ethell, J., et al., *The effect of colour defective vision on shade matching accuracy*. 2006. 14(3): p. 131-136.
137. Van der Burgt, T., et al., *A comparison of new and conventional methods for quantification of tooth color*. 1990. 63(2): p. 155-162.
138. Mollon, J.D.J.N., *Perception: Questions of sex and colour*. 1986. 323(6089): p. 578-579.

139. Paravina, R.D.J.I.J.o.P., *Evaluation of a newly developed visual shade-matching apparatus*. 2002. 15(6).
140. McAndrew, R., et al., *An assessment of shade taking by dental undergraduates*. 2010. 18(1): p. 13.
141. FABER, E.-J. and G.J.D.Z.Z. Schlegel, *EINFLUSS VON FARBTUCHTIGKEIT, GESCHLECHT UND BERUF AUF DIE ZAHNFARBAUSWAHL*. 1999. 54(4): p. 281-283.
142. Igiel, C., et al., *Dental color matching: A comparison between visual and instrumental methods*. 2016. 35(1): p. 63-69.
143. Browning, W.D., et al., *A comparison of human raters and an intra-oral spectrophotometer*. 2009. 34(3): p. 337-343.
144. Culpepper, W.D.J.J.o.P.D., *A comparative study of shade-matching procedures*. 1970. 24(2): p. 166-173.
145. Makarenko, A., I.J.C.R. Shaykevich, and T.C.G. Application: Endorsed by Inter-Society Color Council, Canadian Society for Color, Color Science Association of Japan, Dutch Society for the Study of Color, The Swedish Colour Centre Foundation, Colour Society of Australia, Centre Français de la Couleur, *Dependence of the whiteness of paper on surface roughness and illumination conditions*. 2000. 25(3): p. 170-175.
146. Ishigawa-Nagai, S., et al., *Using a color-matching system in color reproduction of porcelain restorations. Part 3: a newly developed spectrophotometer designed for clinical application*. 1994. 7: p. 50-5.
147. Kohlmeyer, B. and H.J.D.Z.Z. Scheller, *Zahnfarbenbestimmung mit dem PC-gestützten Messgerät Digital Shade Guide: Erste Ergebnisse*. 2002. 57(3): p. 172-175.
148. Swift Jr, E.J., S.A. Hammel, and P.S.J.I.J.o.P. Lund, *Colorimetric evaluation of Vita shade resin composites*. 1994. 7(4).

9. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Überblick über den Versuchsablauf.	2
Abbildung 2: Übersicht über die Wellenlängen des sichtbaren Bereichs [19].	4
Abbildung 3: Das sichtbare Spektrum und seine Beziehung zu den anderen Arten der elektromagnetischen Strahlung (nicht maßstabsgerecht) [19].	4
Abbildung 4: Schematischer Querschnitt durch das menschliche Auge [22].	6
Abbildung 5: Dreidimensionale Darstellung der MUNSELL Farbsystems [26].	8
Abbildung 6: Exemplarische Darstellung der Helligkeitsstufen in der Schwarz-Weiß-Ansicht des VITA classical A1-D4® Farbsystems.	9
Abbildung 7: Schematischer dreidimensionaler Aufbau des CIEL*a*b* Farbraums. Die Helligkeitsachse mit dem Wert L=100 ist oben lokalisiert [31].	11
Abbildung 8: Interpretation von Zahlenwerten von Delta E.	11
Abbildung 9: VITA classical A1-D4® Farbskala	23
Abbildung 10: VITA Toothguide 3D-Master® Farbskala mit bleached Farben.	24
Abbildung 11: VITA Easyshade® V	25
Abbildung 12: Exemplarischer Ablauf des Abmusterungsprozesses	28
Abbildung 13: Exemplarische Durchführung der Abmusterung mit der VITA classical A1-D4® Farbskala, Methode 1.	29
Abbildung 14: Exemplarische Durchführung der Abmusterung, Methode 2.	30
Abbildung 15: Exemplarische Durchführung der Abmusterung, Methode 3.	31
Abbildung 16: Positionierungsschiene für instrumentelle Messung.	32
Abbildung 17: Exemplarische Darstellung der instrumentellen Zahnfarbbestimmung mit dem VITA Easyshade® V.	32
Abbildung 18: Exemplarische Darstellung der instrumentellen Farbbestimmung der Farbmuster unter Zuhilfenahme einer Positionierungsschiene mit dem VITA Easyshade® V.	33
Abbildung 19: Vergleich der prozentualen Verteilung der Häufigkeit der Reproduzierbarkeit der einzelnen Methoden mit der Farbskala VC und 3D.	36
Abbildung 20: Vergleich der prozentualen Verteilung der Häufigkeit der Reproduzierbarkeit mit der Farbskala VC bezogen auf das Geschlecht.	38
Abbildung 21: Vergleich der prozentualen Verteilung der Häufigkeit der Reproduzierbarkeit mit der Farbskala 3D bezogen auf das Geschlecht.	39

Abbildung 22: Vergleich der prozentualen Verteilung der Häufigkeit der Reproduzierbarkeit mit der Farbskala VC bezogen auf das Alter.	40
Abbildung 23: Vergleich der prozentualen Verteilung der Häufigkeit der Reproduzierbarkeit mit der Farbskala 3D bezogen auf das Alter.....	41
Abbildung 24: Vergleich der prozentualen Verteilung der Häufigkeit der Reproduzierbarkeit mit der Farbskala VC bezogen auf die Berufserfahrung.....	42
Abbildung 25: Vergleich der prozentualen Verteilung der Häufigkeit der Reproduzierbarkeit mit der Farbskala 3D bezogen auf die Berufserfahrung.	43
Abbildung 26: Vergleich der prozentualen Verteilung der Häufigkeit der Reproduzierbarkeit mit der Farbskala VC bezogen auf die Berufserfahrung und das Alter.	44
Abbildung 27: Vergleich der prozentualen Verteilung der Häufigkeit der Reproduzierbarkeit mit der Farbskala 3D bezogen auf die Berufserfahrung und das Alter.	45
Abbildung 28: Verteilung der Häufigkeit der Reproduzierbarkeit bezogen auf die Kronenfarbe mit der Farbskala VC und 3D.	46
Abbildung 29: Verteilung der Häufigkeit der Reproduzierbarkeit bezogen auf die Kronenfarbe und Methode mit der Farbskala VC.....	47
Abbildung 30: Verteilung der Häufigkeit der Reproduzierbarkeit bezogen auf die Kronenfarbe und Methode mit der Farbskala 3D.	48
Abbildung 31: prozentuale Verteilung der Häufigkeit der Reproduzierbarkeit der vom Spektralphotometer VITA Easyshade V [®] angezeigten Farben VITA classical und VITA 3D-Master.....	49



Informationsschrift

Konfirmatorische Studie zur Evaluation des Einflusses der Positionierung von Farbmustern auf die Reproduzierbarkeit des Ergebnisses im Rahmen der dentalen Farbnahme

Sehr geehrte Probandin, sehr geehrter Proband,
im Nachfolgenden werden sie über die Ziele der Studie informiert. Sollte Interesse an der Teilnahme für sie bestehen, wenden sie sich bitte an einen der unten genannten Studienärzte. Die ästhetische Wirkung der Zähne hängt in erster Linie von der Zahnfarbe ab. Trotz aller Bemühungen geschieht es in der zahnärztlichen Praxis, dass prothetische Versorgungen nicht den Erwartungen hinsichtlich ihrer Ästhetik entsprechen. Ein Zahnersatz, der den ästhetischen Ansprüchen des Patienten nicht genügt, wird zumeist von diesem abgelehnt und muss neu hergestellt werden. Um ästhetisch befriedigende Ergebnisse zu erlangen wird in der alltäglichen Praxis die Farbbestimmung meist mittels sogenannter Farbmusterskalen vorgenommen. Dabei wurde bisher unter Berücksichtigung der aktuellen Literatur ein zentraler Einflussfaktor bei der visuellen Zahnfarbbestimmung aus wissenschaftlicher Sicht noch nicht evaluiert, nämlich der Einfluss der Positionierung von Farbmustern auf die Reproduzierbarkeit des Ergebnisses.

Ziele:

Es soll der Einfluss der Positionierung der Farbmuster auf die Reproduzierbarkeit des Ergebnisses im Rahmen der dentalen Farbnahme untersucht werden.

Vorgehensweise:

Es sollen 50 approbierte Zahnärzte an dieser Studie teilnehmen. Unter standardisierten Bedingungen (abgedunkelter Raum, Tageslichtlampe 6500K und 2000 lx) wird dem an einem Tisch sitzenden Probanden eine Farbskala (VITA classical A1-D4® Farbskala, VITA Zahnfabrik, Bad Säckingen) mit insgesamt 16 Farbmustern gereicht. Vor dem Probanden wird im Abstand von 30 cm ein Phantomkopf positioniert. Insgesamt werden einzeln, nacheinander 10 CAD/CAM Keramikkrone mit den Farben A1-D4 an Position 11 eines Frasco-Modells in zufälliger Reihenfolge im Phantomkopf dem Probanden präsentiert. Anschließend sollen die Probanden jeweils nacheinander durch einen visuellen Abgleich mittels Farbskala die Farbe der Zahnkrone an Position 11 erkennen. Jede Zahnkrone wird einzeln geprüft. Jeder Proband erhält pro Zahnkrone zwei Minuten Zeit zur Abmusterung. Jeder Proband wird darauf hingewiesen nach 6 Sekunden die Abmusterung kurz zu unterbrechen, um einer Übermüdung der Augen vorzubeugen. Insgesamt werden drei Durchgänge in einem Abstand von jeweils einer Woche absolviert, wobei in jedem Durchgang jedem Probanden 10 verschiedene Zahnkronen in zufälliger Reihenfolge präsentiert werden. Zuerst soll der Proband sein Farbmuster direkt rechts neben die Zahnkrone halten (in gleicher Ebene, gleiche Ausrichtung) und vergleichen. Danach soll der Proband das in der Hand befindliche Farbmuster derart positionieren, dass sich die Farbmuster Schneide an Schneide befinden und diese anschließend vergleichen. Zuletzt muss der Proband sein Farbstäbchen in einem Winkel von 90° direkt rechts neben die Zahnkrone positionieren. Dieses Vorgehen wird bei den zwei nachfolgenden Durchgängen wiederholt. Bei jedem Abmusterungsvorgang wird eine vorgefertigte Positionierungshilfe verwendet.

Nebenwirkungen:

Es ist von keinen Nebenwirkungen für den Probanden auszugehen.

Gefährdungshaftung:

Vorsorglich werden Sie darauf hingewiesen, dass eine Versicherung für nicht schuldhaft verursachte Schäden, die im Zusammenhang mit der Studie auftreten können, nicht abgeschlossen wurde. Ein Versicherungsschutz besteht damit nur, wenn den Arzt oder einen anderen Mitarbeiter der Prüfstelle der Vorwurf eines schuldhaften Fehlverhaltens trifft. In Zweifelsfällen von der Prüfstelle muss dabei der Entlastungsbeweis geführt werden, dass kein Verschulden vorliegt. Wegeunfälle sind ebenfalls nicht versichert.

Umgang mit Ihren persönlichen Daten:

Die Aufzeichnung Ihrer Studiendaten erfolgt zunächst in Originalunterlagen. Die für die Prüfung wichtigen Daten werden zusätzlich pseudonymisiert in einen gesonderten Dokumentationsbogen übertragen (Pseudonymisierung bedeutet Verschlüsselung von Daten ohne Namensnennung, die Zuordnung der Daten zu einer Person ist nur möglich, wenn hierfür der Schlüssel eingesetzt wird, mit dem die Daten pseudonymisiert wurden).

Ebenso pseudonymisiert erfolgt die statistische Auswertung der Daten. Es werden nur pseudonymisierte Daten ausgewertet. Die Weitergabe an Dritte einschließlich der Publikation erfolgt ausschließlich in anonymisierter Form, d.h. diese können nicht einer Person zugeordnet werden.

Die ärztliche Schweigepflicht und die Bestimmungen des Bundesdatenschutzgesetzes werden eingehalten.

Die Teilnahme an der Studie ist freiwillig. Sie können Ihr Einverständnis jederzeit, ohne Angabe von Gründen und ohne Nachteile zurückziehen.

Bei Rücktritt von der Studie kann auf Wunsch bereits gewonnenes Datenmaterial frühestmöglich vernichtet bzw. anonymisiert werden. Sie können sich beim Ausscheiden aus der Studie entscheiden, ob Sie mit der Auswertung des Materials bzw. Ihrer Studiendaten einverstanden sind oder nicht. Sollten Sie zu einem späteren Zeitpunkt Ihre Entscheidung ändern wollen, setzen sie sich bitte mit dem Studienarzt in Verbindung. Die Daten werden 5 Jahre nach der Erhebung vollständig gelöscht.

Für weitere Fragen stehen Ihnen die betreuenden Studienärzte bzw. der Studienleiter jederzeit zur Verfügung.

Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik und Werkstoffkunde der
 Universitätsmedizin Mainz
 Klinik für Mund-, Zahn und Kieferkrankheiten

Einverständniserklärung

Zur Teilnahme an der Studie

Konfirmatorische Studie zur Evaluation des Einflusses der Positionierung von Farbmustern auf die Reproduzierbarkeit des Ergebnisses im Rahmen der dentalen Farbnahme

Ich erkläre mich bereit an der o.g. Studie freiwillig teilzunehmen. Ich bin in einem persönlichen Gespräch ausführlich und verständlich über Wesen, Bedeutung, Risiken und Tragweite der Studie aufgeklärt worden. Ich hatte Gelegenheit zu einem Beratungsgespräch. Alle meinen Fragen wurden zufriedenstellend beantwortet, ich kann jederzeit neue Fragen stellen. Ich habe darüber hinaus den Text der Studienaufklärung gelesen und verstanden. Ich hatte ausreichend Zeit, mich zu entscheiden. Mir ist bekannt, dass ich jederzeit und ohne Angaben von Gründen meine Einwilligung zur Teilnahme an der Studie zurücknehmen kann (mündlich oder schriftlich), ohne dass mir daraus Nachteile entstehen.

Ich bin damit einverstanden, dass meine studienbezogenen Daten pseudonymisiert (d.h. kodiert ohne Angaben von Namen, Anschrift, Initialen oder Ähnliches) erhoben, auf Datenträgern gespeichert und vom Auftraggeber der Studie ausgewertet werden. Die Weitergabe an Dritte einschließlich der Publikation erfolgt ausschließlich in anonymisierter Form, d.h. diese können nicht meiner Person zugeordnet werden.

Ein Exemplar der Studieninformation und Einwilligungserklärung habe ich erhalten, gelesen und verstanden.

 Ort/Datum

 Unterschrift des Patienten

Ich habe das Aufklärungsgespräch geführt und die Einwilligung des Teilnehmers eingeholt.

 Ort/Datum

 Unterschrift des Arztes

Danksagung

Lebenslauf