

Aus der Abteilung für restaurative Zahnheilkunde,
Alterszahnmedizin und Funktionslehre
der Medizinischen Fakultät Charité - Universitätsmedizin Berlin

DISSERTATION

Untersuchung: Ist die Zahnfarbdifferenzierung lernbar?

Zur Erlangung des akademischen Grades
Doctor medicinae dentariae (Dr. med. dent.)

vorgelegt der Medizinischen Fakultät
Charité - Universitätsmedizin Berlin

von

Petra Wünnemann
aus Berlin

Gutachter: 1. Prof. Dr. W. B. Freesmeyer

2. Prof. Dr. B. Kordaß

3. Prof. Dr. H. A. Jakstat

Datum der Promotion: 30.01.2009

INHALTSVERZEICHNIS

1 Einleitung	1
2 Literaturübersicht	3
2.1 Geschichtliche Entwicklung der Farbenlehre	3
2.1.1 CIE- und CIELab-System	9
2.2 Entwicklung der Farbwissenschaft in der Zahnmedizin	13
2.3 Die Physik der Farbe	16
2.3.1 Die additive Farbmischung	17
2.3.2 Komplementärfarben	18
2.3.3 Die subtraktive Farbmischung	18
2.4 Der Aufbau des menschlichen Auges	19
2.4.1 Wie funktioniert Farbsehen	20
2.4.2 Individuelle Farbwahrnehmung	21
2.5 Die Zahnfarbe	23
2.5.1 Die Bestimmung der Zahnfarbe	24
2.5.2 Vita Classical Farbring	25
2.5.3 Chromaskop Farbring	26
2.5.4 Vitapan 3D-Master Farbring	27
3 Ziel der Untersuchung	29
4 Material und Methode	30
4.1 Durchführung der Farbsehtests	30
4.2 Anwendung der Software Toothguide Trainer	32
4.3 Anwendung der Toothguide Training Box	33
4.4 Zahnfarbenbestimmung	35
4.5 Statistische Auswertungen	36
5 Ergebnisse	37
5.1 Abschlusstest Toothguide Trainer (Software und Box)	37
5.2 Die Ergebnisse der Zahnfarbbestimmung	41
6 Diskussion	49
7 Schlussfolgerung	53
8 Zusammenfassung	54
8.1 Summary	55

9 Literaturverzeichnis	55
10 Anhang	63
10.1.1 Danksagung	63
10.1.2 Lebenslauf	64
10.1.3 Eidesstattliche Erklärung	65

1 Einleitung

Ästhetische Aspekte nehmen neben der Notwendigkeit der Restauration von Zähnen in funktioneller Hinsicht mittlerweile eine sehr große Bedeutung ein. Das Farbsehen jedes einzelnen Menschen ist individuell; trotzdem ist jeder in der Lage zu beurteilen, ob eine Zahnfarbe richtig ausgewählt wurde und damit, zum Beispiel die neue Frontzahnkrone, zum Bild der Gesamtästhetik passt oder störend auffällt. Eine falsche Farbwahl und damit öftere Einproben, welche den Patienten verunsichern, sind unangenehm.

Ebenso wichtig ist die Kommunikation zwischen dem Behandler, der die Farbauswahl vorgenommen hat und dem Zahntechniker, der die Anweisungen ausführt, da er zumeist die Patienten nicht zu Gesicht bekommt. Damit ein Zahnersatz neben der Funktion auch aus farblicher und ästhetischer Sicht vor allem den Patienten aber auch den behandelnden Zahnarzt zufrieden stellt, sind zahlreiche Kriterien wichtig, die es bei der Farbauswahl zu beachten gilt. Zu nennen ist hier eine farblich reizarme Umgebung. Grelle Kleidung des Patienten, Lippenstifte und starkes Make-up bei Frauen können Farbeindrücke stark beeinflussen. Tageslicht mit günstigen Lichtverhältnissen ist ebenso wichtig, denn künstliches Licht beeinträchtigt die Farbauswahl negativ. Es sollten Farbskalen verwendet werden, die sowohl vom Zahnarzt, der Zahnarzthelferin als auch vom Zahntechniker genutzt werden können.

Die Farbdifferenzierung spielt in der Lehre des zahnmedizinischen Studiums nur eine untergeordnete Rolle. Erst in den klinischen Semestern wird beim Legen der ersten Kompositfüllungen klar, welche Bedeutung das Thema Zahnfarbe eigentlich besitzt und setzt sich fort in den darauf folgenden prothetischen Semestern. Dies gilt ebenso für die Ausbildung zur zahnmedizinischen Fachangestellten, als auch für die Ausbildung zum Zahntechniker.

Die Bestimmung der „richtigen“ Zahnfarbe unter „richtigen“ Bedingungen ist ein wichtiges Thema. Denn bisher, so schien es, hing dies vom Talent und der jeweiligen Erfahrung des Zahnarztes ab.

JAKSTAT, Leiter der Vorklinischen Propädeutik und Werkstoffkunde am Zentrum für Zahn-, Mund-, und Kieferheilkunde der Universität Leipzig vertritt die Meinung, dass die Bestimmung von Zahnfarben erlernbar sei. Er entwickelte eine Lehr- und Lernmöglich-

keit als Curriculum für die vorklinische Ausbildung zur Farbdifferenzierung [35]. Auf der Basis der 3D Master Farbskala (Vita Zahnfabrik) konzipierte JAKSTAT als ersten Schritt eine Art „Computerspiel“. Hierbei wird das Softwareprogramm Toothguide – Trainer verwendet. Die Aufgabe besteht darin, Abbildungen von Zähnen in verschiedenen Farben zu identifizieren. Dies geschieht in verschiedenen Levels mit differierendem Schwierigkeitsgrad.

Es folgte die Entwicklung der Toothguide-Training-Box, kurz TTB. In dieser Box sind 50 verschiedene Zähne aus dem 3D-Master-Farbring auf einem Rad aufgesteckt. Dieses Rad dreht sich und stoppt computergesteuert, die Zähne werden auch hier nach dem Zufallsprinzip angeboten.

Das Curriculum Zahnfarbdifferenzierung wird vervollständigt durch die „Toothguide Check Box“ und wird im zweiten Phantomkurs der Zahnersatzkunde durchgeführt, wo durch tiefgezogene Vorlagezähne des Oberkiefers im Mund die Farbdifferenzierung simuliert wird.

Ziel der durchgeführten Studie war es zu belegen, dass durch Anwendung des Toothguide-Trainers und der Toothguide-Training-Box, basierend auf dem 3D-Master Toothguide, die Zahnfarbdifferenzierung lernbar ist.

2 Literaturübersicht

2.1 Geschichtliche Entwicklung der Farbenlehre

Bei den alten Griechen wurde unter anderem von ARISTOTELES sowie von PTOLEMÄUS die Hypothese aufgestellt, dass aus den Elementen Wasser, Feuer, Luft und Erde die gesamte Materie bestehen würde. Neben den vier Elementen gab es nach ihren Vorstellungen vier Grundfarben: Weiß, Gelb, Rot sowie Schwarz. Die Farbenvielfalt kam demzufolge durch Mischungen der vier Grundfarben zustande.

JOHANN WOLFGANG VON GOETHE hat in seiner *Farbenlehre* von 1810 einige Originaltexte aus dieser Zeit übersetzt: PLATO (429-347 v. Chr.) war der Meinung, dass Farben und Licht nur dann gesehen werden können, wenn man entweder die Augen schließt oder wenn man einen Schlag auf die Augen bekäme. Daraus folgerte er, dass im Auge ein Feuer vorhanden sein muss, welches dann als Sehstrahl ausgesendet wird und Gegenstände abtastet [37,39,68].

Abgelehnt wurden diese Hypothesen von ARISTOTELES (384-322 v. Chr.). Farben sind für ihn keine Empfindungen sondern vielmehr Eigenschaften von Körpern und seinen Oberflächen. Er beschrieb schon damals den Effekt der Nachbildfarben: „Farben, die sich im Auge nach einem starken Lichteindruck bilden“; ebenso die Tatsache, „dass wenn man einen Gegenstand, der sehr dunkel ist, vor einem hellen Hintergrund betrachtet und anschließend die Augen schließt, dass Dunkle hell und das Helle dunkel erscheint“. Er beschrieb auch wie dieselbe Farbe Violett ihr Erscheinungsbild verändert, einmal bei weißem und einmal bei schwarzem Hintergrund. Dies bezeichnet man heute als Simultankontrast. ARISTOTELES ist einer der Ersten von denen bekannt ist, dass er Farbversuche durchführte. Er ließ durch zwei hintereinander liegende Scherben, eine gelbe und eine blaue, Sonnenlicht auf einen weißen Boden fallen. Er sah grünes Licht und folgerte daraus, dass Gelb und Blau Grün ergibt. Dies wird heute als subtraktive Farbmischung bezeichnet [39].

Bis ins 16. Jahrhundert gab es keine nennenswert neuen Erkenntnisse bezüglich neuer Farbtheorien. In einer Zeit des geistigen Umbruchs lebte LEONARDO DA VINCI (1452-1519), Maler, Bildhauer, Architekt, Naturforscher und Ingenieur; er befasste sich sehr intensiv mit Farbtheorien. In seinen „*Notizen über Kunst und Malerei*“ findet man präzise

Beschreibungen über das Phänomen des Simultankontrastes und damit der gegenseitigen Beeinflussung der Farben. Er war auch einer der Ersten, der Harmoniebeziehungen von Gegenfarben, die Komplementärfarben erkannte [38,39].

ISAAK NEWTON (1643-1727) führte Experimente mit Glasprismen durch und beschrieb die Farben des Spektrums. Diese Farben, Rot, Orange, Gelb, Grün, Blau, Indigo und Violett ordnete er in einem Farbkreis an (Abbildung 1). In der Mitte steht Weiß; somit wird jede sich auf dem Außenkreis befindliche Spektralfarbe zum Kreismittelpunkt hin heller [39].

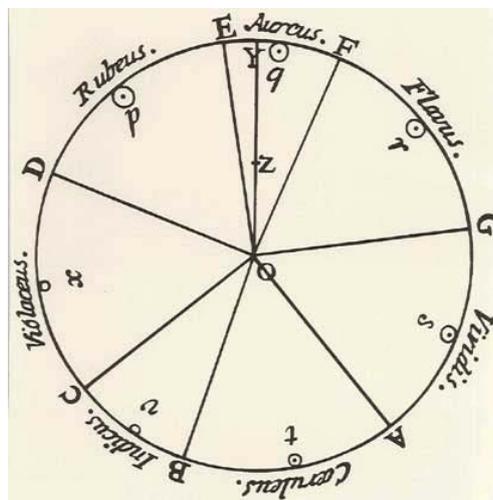


Abbildung 1: Der Farbkreis von NEWTON

Der Farbkreis von NEWTON mit den sieben Farbbereichen Rot, Orange, Gelb, Grün, Blau, Indigo und Violett. Mittlerweile wird der Farbkreis, erweitert um Magentarot an der Schnittstelle Orange und Violett, auf der ganzen Welt als Schema bunter Farben benutzt.

(Q: KÜPPERS H: Schnellkurs der Farbenlehre. Köln: Du Mont 2005)

JOHANN WOLFGANG VON GOETHE (1749-1832) schrieb sein Buch zur Farbenlehre 1810. Im Mittelpunkt von GOETHES Ausführungen steht weniger eine wissenschaftliche Beschreibung von Farbe und Licht, es sind vielmehr Erkenntnisse aus der Natur und davon abgeleitete Theorien. In diesem spielt die Sinneswahrnehmung von Licht und Farbe sowie die Harmonie eine sehr wichtige Rolle [38,68]. Der Farbkreis aus den Grundfarben Gelb, Blau, Rot und deren Mischfarben Grün, Orange und Violett ist ein zentrales Element der Farbentheorie von GOETHE (Abbildung 2). Den linken Anteil des Farbkreises, der von Blau nach Rot verläuft, bezeichnete er als Minusseite; den

rechten, von Gelb nach Rot verlaufenden Anteil als Plusseite. Diese Plusseite verband GOETHE mit Begriffen wie Nähe, Wärme und Licht. Die Minusseite dagegen mit Ferne, Schatten und Dunkelheit, sowie unruhigen Empfindungen. GOETHE bestand seinerzeit beharrlich darauf, NEWTON hätte sich mit seiner Behauptung, „weißes Licht enthalte alle Farben“, geirrt, was allerdings falsch war. So blieb seine Farbenlehre auch lange nach seinem Tod umstritten. Aus heutiger Sicht werden sowohl die Theorien von NEWTON als auch von GOETHE als Lehren unterschiedlichen Ansatzes gesehen, die sich durchaus ergänzen. Denn Physik allein reicht nun mal nicht aus, um eine Farbe und den Eindruck, den sie hinterlässt, zu beschreiben [38,39,54,67,68].



Abbildung 2: Farbenkreis von GOETHE von 1793.

Der Farbenkreis besteht aus den Grundfarben Gelb, Blau und Rot sowie deren Mischfarben Grün, Orange und Violett, die einander gegenüberliegen. Den Farben wurden verschiedene Bereiche des menschlichen Geistes -und Seelenlebens zugeordnet.

(Q: www.anthroposopie.net/goetheanismus/goetheanismus_farbenlehre.htm)[66]

PHILLIP OTTO RUNGE (1777-1810) legte 1810 sein Werk über eine Farbkugel vor. Diese Kugel trägt entlang des Äquators die reinen Farben, die Pole sind Schwarz und Weiß. Für RUNGE gibt es fünf Elementarfarben: Gelb, Rot, Blau, Weiß und Schwarz, die für ihn gleichwertig sind. Im Mittelpunkt des Farbenkreises liegt Grau, durch welches senkrecht die Achse zwischen Weiß und Schwarz verläuft (Abbildung 3) [38,39,60].

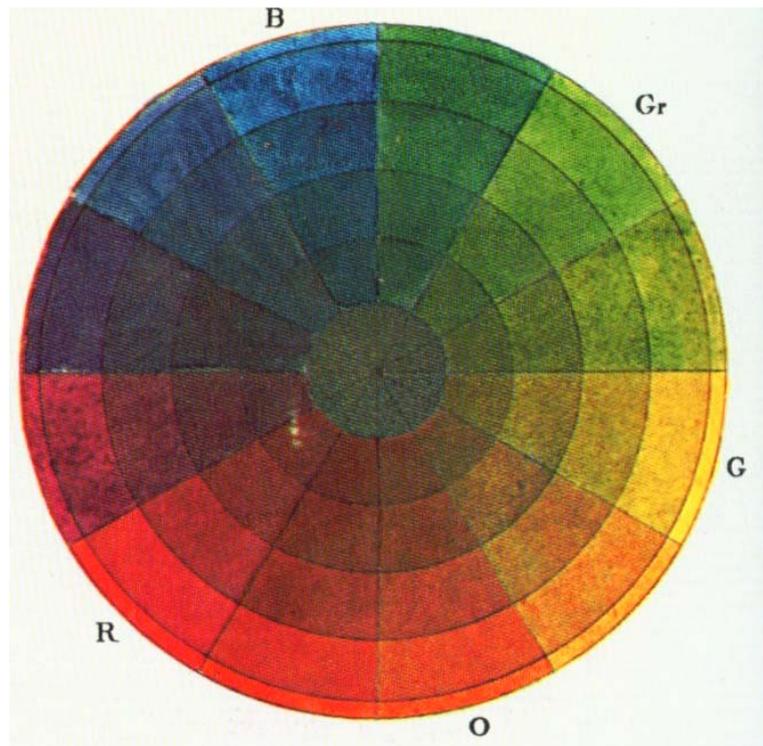


Abbildung 3: Farbenkugel von PHILLIP OTTO RUNGE von 1810

Die Farbenkugel trägt die reinen Farben entlang des Äquators. Ausgangspunkt sind die drei Grundfarben Rot, Gelb und Blau, welche den gleichen Anstand in der Farbenkugel zueinander haben. Dazwischen liegen die Mischfarben. Die Pole der Kugel sind Weiß und Schwarz. Die Abkürzungen stehen für B=Blau, Gr=Grün, G=Gelb, O=Orange und R=Rot.

(Q: KÜPPERS H: Harmonielehre der Farben. 2.Aufl., Köln: Du Mont 1999)

THOMAS YOUNG (1773-1829) stellte seinerzeit die Hypothese auf, dass es im Auge empfindliche Strukturen für verschiedene Spektralbereiche geben muss, durch welche die Farbempfindung hervorgebracht wird. Licht pflanzte sich seiner Meinung nach durch Wellenbewegung fort. 1809 stellte er die Theorie der Trichromazität auf: dass Photorezeptoren für kurz-, mittel- und langwelliges Licht empfänglich sind [39,52].

JAMES CLARK MAXWELL (1831-1879) veröffentlichte 1859 sein Buch „*Theorie des Farbsehens*“. Es gilt heute als Ursprung für die physikalische Intensitätsmessung der Lichtstrahlen verschiedener Wellenlängen. Die Farbmeterik, welche heutzutage die Grundlage aller technischen Prozesse unserer visuellen Kommunikationsmedien ist, hat sich daraus entwickelt [39]. 1861 hat MAXWELL mit seiner Dreifarbenprojektion bewiesen, dass alle Farben durch die Grundfarben Rot, Grün und Blau synthetisiert werden können [52].

ALBERT H. MUNSELL (1858-1918) schrieb „*A Grammar of Colour*“, in welchem er sich mit der Entstehung der Harmonie von Farben sowie ihrer Ordnung auseinandersetzt [39]. In seinem Buch präsentiert er fünf bunte Ausgangsfarben, welche für ihn die Hauptfarben sind: Rot, Gelb, Grün, Blau und Purpur. Zwischen zwei Hauptfarben liegt eine Zwischenfarbe; somit enthält sein Farbkreis zehn Buntarten (Abbildung 5) [38,52]. Er entwickelte einen Farbatlas, genannt „*Munsell Book of Colour*“. In diesem findet man Anordnungen von Farbmustern nach Helligkeit, Sättigung und Farbton; Merkmale, die zuvor schon HELMHOLTZ beschrieben hatte [45].

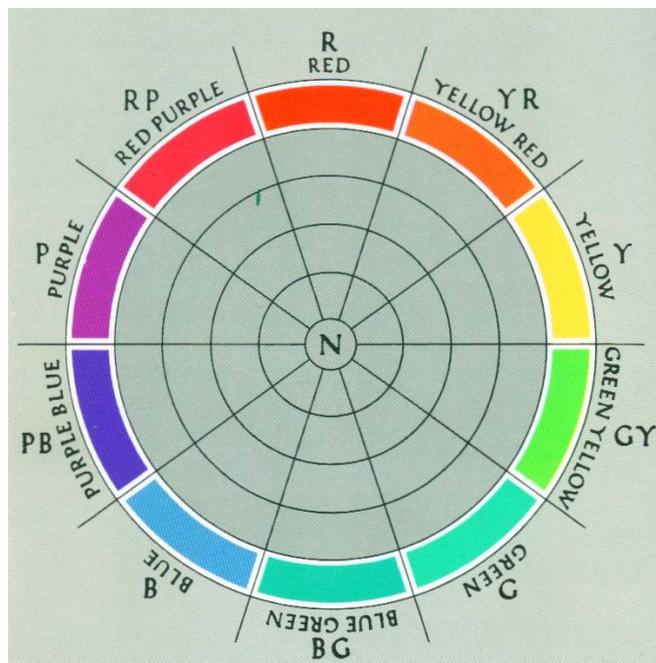


Abbildung 5: Der Farbkreis von MUNSELL von 1921.

Fünf Hauptfarbtöne sind in gleichen Abständen angeordnet: Rot (R), Gelb (Y), Grün (G), Blau (B) und Purpur (P). Durch die Mischung dieser Farben miteinander entstehen fünf weitere Farben: Gelb Rot (Yellow Red = YR), Grün Gelb (Green Yellow = GY), Blau Grün (Blue Green = BG), Purpur Blau (Purple Blue = PB) sowie Rot Purpur (Red Purple = RP). Damit entsteht ein zehnteiliger Farbkreis. Für jeden Farbton kann man zehn Helligkeitsstufen (Value) und bis zu 16 Buntheitsstufen (Chroma) unterscheiden, so dass letztendlich ein vierzigteiliger Farbkreis gebildet wird.

(Q: KÜPPERS H: Harmonielehre der Farben. 2.Aufl., Köln: Du Mont 1999)

WILHELM OSTWALD (1853-1932), Professor für physikalische Chemie, erhielt 1909 für die Erforschung der Katalyse den Nobelpreis. Er entwickelte das Modell des Doppelkegels: alle Abweichungen von einer reinen, bunten Farbe aus einem Farbkreis werden in einem Dreieck dargestellt. Dieses Dreieck nannte OSTWALD farbtongleiches Dreieck

[39]. Nach seiner Meinung besteht jede Nuance einer Farbe aus drei Teilmengen. Zunächst die Buntart, die er als Vollfarbe (v) bezeichnete; daneben Weiß (w) und Schwarz (s). Daraus folgte die Gleichung $v + w + s = 1$ [38]. Der Doppelkegel erwächst aus einem Farbkreis (Abbildung 6), der in 24 Segmente, den Vollfarben, aufgeteilt ist, die ihrerseits aus den vier Urfarben Gelb, Rot, Blau und Seegrün entspringen. 1916 erschien seine Farbfibel, die sein entsprechendes System vorstellt [48].

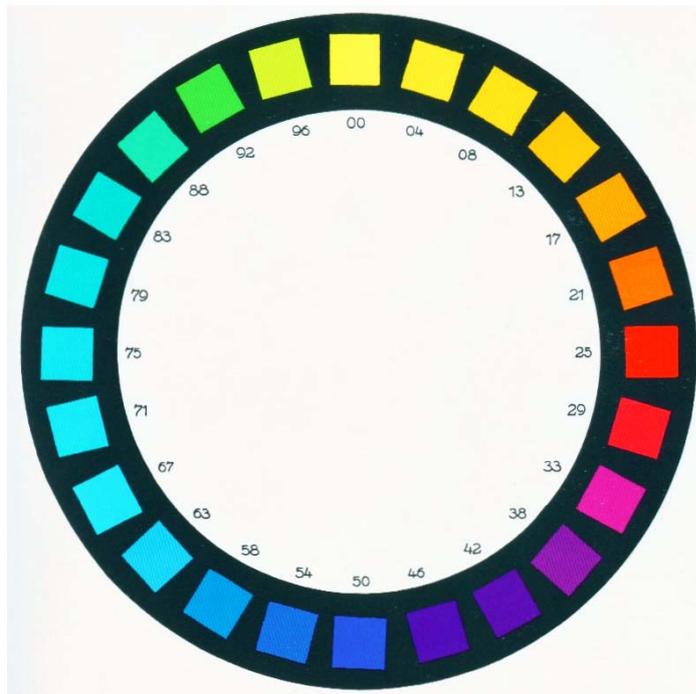


Abbildung 6: Der Farbkreis von OSTWALD von 1921

In diesem sind 24 voll gesättigte Farbtöne („Vollfarben“) angeordnet. Nach Ostwald sind Vollfarben Farben, die keine Beimischungen von Schwarz oder Weiß enthalten.

(Q: KÜPPERS H: Harmonielehre der Farben. 2.Aufl., Köln: Du Mont 1999)

2.1.1 CIE- und CIELab-System

Der Wunsch nach einem objektiven Weg der Farbbestimmung wurde Anfang des 20. Jahrhunderts immer stärker. Das gewünschte Farbsystem sollte ein mathematisches Konstrukt darstellen, in welchem die Position der zu bestimmenden Farbe in Relation zu

jeder Primärfarbe berechnet werden kann. Die CIE (Commission International d'Éclairage) wurde beauftragt, eine mathematisch definierte Normfarbtafel zu entwickeln. Auf dem Farbdreieck des Physikers JAMES C. MAXWELL basiert die Entwicklung einer solchen Normfarbtafel. Selbiger legte im Jahr 1859 seine „*Theorie des Farbsehens*“ vor; sie gilt als Ursprung der quantitativen Farbmessung (Colometrie). MAXWELL war der Ansicht, dass alle Farben durch die Mischung der drei Spektralfarben Rot, Grün und Blau zustande kommen würden. In einem gleichschenkligen Dreieck ordnete er an den Eckpunkten die drei Hauptfarben Rot (R), Grün (G) und Blau (B) an (Abbildung 7). Er stellte dar, dass jede Mischfarbe im Schwerpunkt der Linie liegt, welche die zusammenstellenden Farben verbindet [1,38,39].

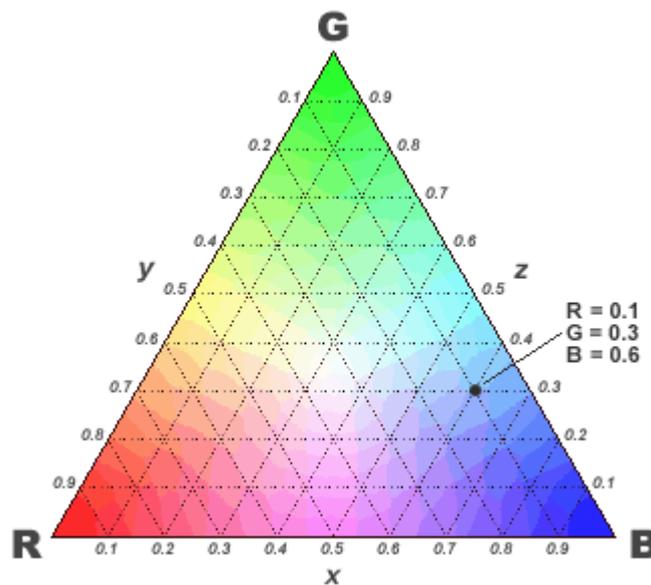


Abbildung 7: RGB-Dreieck von MAXWELL

(Q:[http:// www.handprint.com](http://www.handprint.com))[57]

In diesem Dreieck haben die geometrischen Beziehungen und Abstände eine präzise Bedeutung und basieren auf physikalischen Messungen. Mit Hilfe von standardisierten Lichtquellen kann eine Mischung von Rot, Grün und Blau solange verändert werden bis der Farbeindruck mit der Probe zusammenpasst.

Drei Faktoren sind somit für die Farbwahrnehmung gegeben: Der Betrachter, die Lichtquelle und der Gegenstand. Die jeweilige Mischung lässt sich durch die drei Werte R, G und B, auch unter dem Namen „Dreifarbenwerte“ (tristimulus values), festhalten.

Damit sind die Variablen gegeben, die eine Farbe letztlich charakterisieren: Der Farbton (engl.: hue), die Farbsättigung (engl.: chroma) und die Helligkeit (engl.: value) [1].

Die CIE hat 1931, ausgehend von dieser Grundlage ein zweidimensionales Farbdigramm, auch Normfarbtafel oder Standard Valenz System entwickelt (Abbildung 8). Die Dreifarbenwerte von MAXWELL R, G und B wurden mathematisch umformuliert und durch neue tristimulus values x, y und z ersetzt.

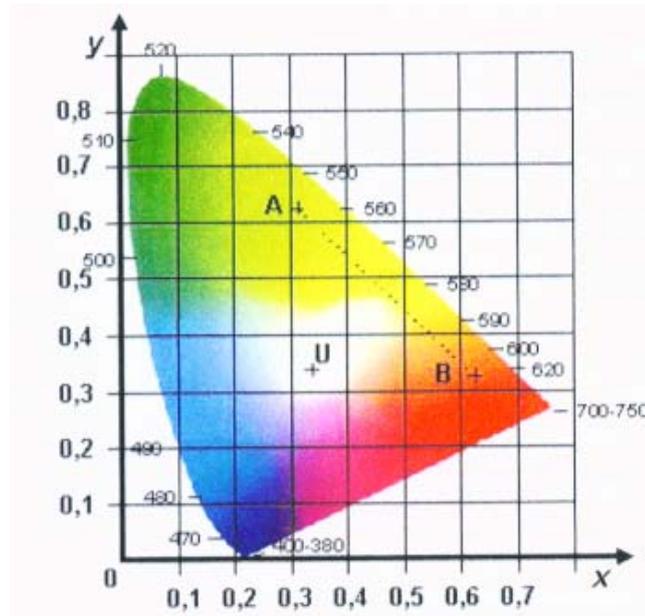


Abbildung 8: Normfarbtafel CIE von 1931

(Q: BALTZER A, KAUFMANN-JINOIAN V: Die Bestimmung der Zahnfarben. Quintessenz Zahntechnik 2004; 30 (7): 726-740.)

Jeder Farbreiz wird physikalisch gemessen und es werden getrennte Werte für den kurz-, mittel- und langwelligen Bereich des Spektrums ermittelt wie die Abbildung 8 zeigt. Sie entsprechen den angenommenen Wellenlängen für 700 nm für Rot, 546 nm für Grün und 435 nm für Blau und werden mit x, y und z bezeichnet. Auf der x-Achse wird der Wert für Rot eingetragen, auf der y-Achse derjenige für Grün. Der Wert für Blau ergibt sich aus der Differenz der beiden Werte von Rot und Grün zu der mathematischen Größe 1. Die entsprechende Formel lautet: $x + y + z = 1$. Jede Farbart entspricht auf dieser Ebene dem mathematischen Wert 1 [15,39].

Beim dem hieraus entstehenden Farbdigramm nimmt die waagerechte Achse die Werte für x und die senkrechte Achse die Werte für y auf. Dieses x-y-Diagramm hat auf der z-Achse nur eine Ebene im Farbraum, welche die Lichtempfindung aufnimmt. Die

Ebenen, die auf dieser z-Achse gegen den Nullpunkt hin liegen, geben Farben von abnehmender Helligkeit wieder. In diesem, auch als „Farbtüte“ bezeichneten Farbraum, ist es dem Farbmeteriker allerdings nicht möglich, Farbunterschiede als Entfernungen im Schaubild zu bestimmen. Es wurde von Kritikern auf den Nachteil aufmerksam gemacht, dass Grün überrepräsentiert ist und die roten, violetten und blauen Töne in den Ecken zusammengedrängt sind.

1976 entstand das CIELab-System (Abbildung 9). Die drei farbmétrischen Koordinaten bzw. Farbwerte x , y und z der CIE Normfarbtafel wurden in drei neue Größen überführt, die als L , a und b bezeichnet wurden. Aus x und y wird a , aus y und z entsteht b ; y allein wird zu L . Der Wert L steht für die Helligkeit; das bedeutet, er wird durch die Funktion eines Farbwertes definiert. Die Funktion ist so gewählt, dass gleiche Skalenintervalle gleiche Unterschiede zwischen Farben so eng wie möglich wiedergeben, die der Helligkeit nach verwandt sind [1].

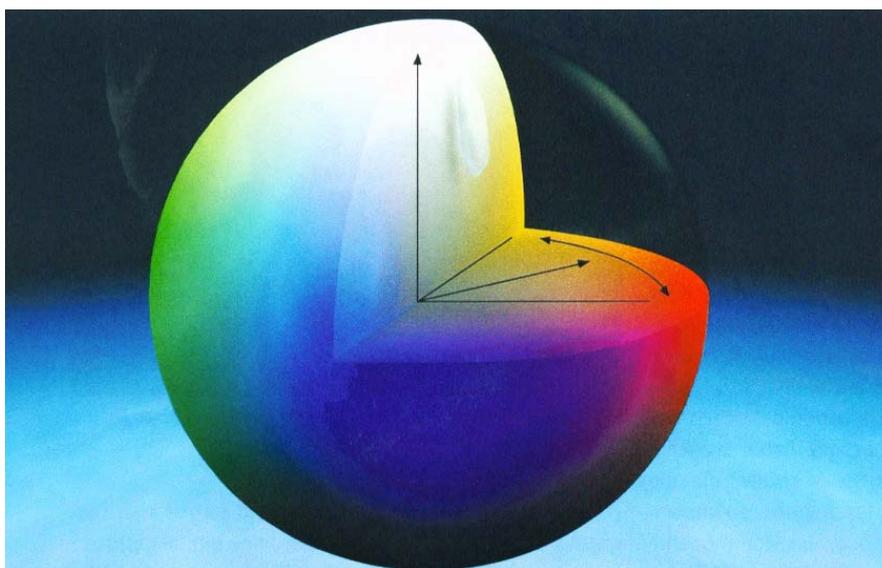


Abbildung 9: Der CIELab Farbraum

Die Farben sind hier empfindungsgemäß gleichabständig. Die Abstände sind auch zahlenmäßig gleich groß. Jede Farbe kann durch drei Werte exakt definiert werden: durch die senkrechte Koordinate L = Luminance, Helligkeit und die zwei Ebenen Koordinaten a und b , die den Farbton und die Sättigung auf einer Rot-Grün bzw. Blau-Gelben Achse wiedergeben. Das weiße oval, längliche Segment von der senkrechten Achse zeigt den dentalen Farbraum.

(Q: PAUL SJ, KERN M: Digitale Farbbestimmung. Quintessenz Zahntechnik 2004;30(6): 610-618.)

Die natürlichen Zahnfarben werden in Abbildung 9 durch die bananenähnliche Form symbolisiert: Sie unterscheiden sich weitgehend in ihrer Farbhelligkeit; daher steht der Zahnfarbraum zur Helligkeitsachse senkrecht. Die helleren Zähne sind oben, die

dunkleren unten zu finden. Intensivere Zahnfarben findet man von der farblosen Zentralachse L weiter entfernteren Außenkrümmung des Teilsegmentes. Zähne mit rötlichem Farbton liegen näher der a-Achse, jene mit gelblichem Farbton der b-Achse zugewandt [56].

2.2 Entwicklung der Farbwissenschaft in der Zahnmedizin

Das Thema Farbwissenschaft in der Zahnmedizin wurde schon 1931 untersucht. E. BRUCE CLARK, der ein Pionier in der zahnmedizinischen Farbforschung war, verfasste viele Artikel zwischen 1931 und 1947 über zahnmedizinischen Farbstandard und über Zahnfarben. Er bemängelte schon damals, dass im Lehrplan des zahnmedizinischen Studiums kein Unterricht vorgesehen war, der den Studierenden die Farbwissenschaft näher gebracht hätte [14,49].

SPROULL stellte 1967 in einer Studie, nach Abschicken von Fragebögen an 238 Adressaten fest, dass nur an drei Universitäten Farbwissenschaft auf dem Lehrplan stand [49,62]. 1990 gab es von 69 angeschriebenen Fakultäten 20, an denen Farbwissenschaft als Pflichtkurs bestand, an 13 weiteren gab es hierzu Wahlkurse [47,49].

GOODKIND und LOUPE veröffentlichten 1992 eine Untersuchung über „den Unterricht in Farbwissenschaften“ im Jahr 1988 am American College of Prosthodontists: 50% der Studenten gaben an, dass sie nicht über ein farblich-ausgewogenes Verständnis verfügen [27,49].

Das erste Trainingsprogramm für Zahnärzte zur Verbesserung der Farbanpassungsfähigkeiten wurde von BERGEN entwickelt. Die Ergebnisse wurden von ihm 1975 veröffentlicht. In dieser Studie gab es eine Kontrollgruppe und zwei Studiengruppen; vor Beginn und nach Abschluss selbiger musste ein Multiple-Choice Farbtest beantwortet werden, durch welche die Fähigkeiten der Probanden hinsichtlich der Unterscheidung von Variationen in MUNSELL Farbnuancen, -werten und -chrominanz getestet werden sollten. Nach sechs Wochen wurde der Test nochmals wiederholt. Im Unterschied zur Kontrollgruppe erhielt die Studiengruppe Nr.1 sechs einstündige Vorlesungen über farbwissenschaftliche Theorien und Farbschulungen. Die Studiengruppe Nr.2 erhielt vier einstündige Vorlesungseinheiten über die Einführung in das MUNSELL System. Die Vorlesungseinheiten führten bei der Durchführung eines erneuten Tests zu einer Verbesserung der Ergebnisse von 75% in der Studiengruppe Nr.1 und 80% in der

Studiengruppe Nr.2. In der Kontrollgruppe konnten nur 28% ihr Ergebnis verbessern; 40% hatten ein schlechteres Ergebnis und 32% erzielten dasselbe Resultat [3].

Eine Möglichkeit für einen Unterricht und eine damit verbundene Schulung in Farbe und Aussehen wurde in einem Wahlkurs mit dem Namen „Color and Appearance: Theory and Practice“ an der Universität Texas, Dental Branch, in Houston im Frühjahrsemester 2003 angeboten. Das Unterrichtsprogramm bestand aus zwölf Einheiten mit Themen zur Farbwissenschaft, Erläuterungen zu Aussehensparametern wie z.B. Glanz, Transparenz, Opaleszenz, Messinstrumente für Farbe und Glanz, Vorlesung und Demonstration zum Thema Oberflächenrauigkeit, Kommunikation an Dritte, Zahnbleaching, Farbkorrekturen sowie verschiedene Farbschulungsübungen [49,50].

RADE D. PARAVINA und JOHN POWERS nehmen sich in ihrem Buch „*Esthetic color training in dentistry*“ ebenfalls der Fragestellung an, ob Zahnfarbdifferenzierung erlernbar ist und ob ein Unterricht in Farbwissenschaften nicht der erste Schritt in der Lehre der Zahnmedizin wäre, um bessere Ergebnisse in der Farbschattierungsabgleichung von Zähnen zu erzielen. Das von PARAVINA entwickelte Softwareprogramm, *color training exercises*, beinhaltet ein Farbsehtrainingsprogramm, welches für all jene entwickelt wurde, die sich mit der Farbabstimmung von Zähnen befassen oder in naher Zukunft etwas damit zu tun haben werden. Das Programm besteht aus sieben Übungsgruppen, die in ein Einführungs-Set (I-Set), ein Trainings-Set (T-Set) und in ein Übungs-Set für Fortgeschrittene (A-Set) unterteilt sind. Das I-Set besteht aus den Übungsgruppen I1, I2 und I3, das T-Set aus T1, T2 und T3. In diesen verschiedenen Übungseinheiten geht es darum, kleine Quadrate vom Hellsten zum Dunkelsten anzuordnen, nach dem Farbton bzw. Buntheit sowie nach aufsteigendem Sättigungsgrad bzw. Buntheitsgrad. Jede dieser sechs Übungsgruppen enthält diese kleinen Quadrate, die so angeordnet und markiert sind, wie Abbildung 10 und Abbildung 11 zeigen.

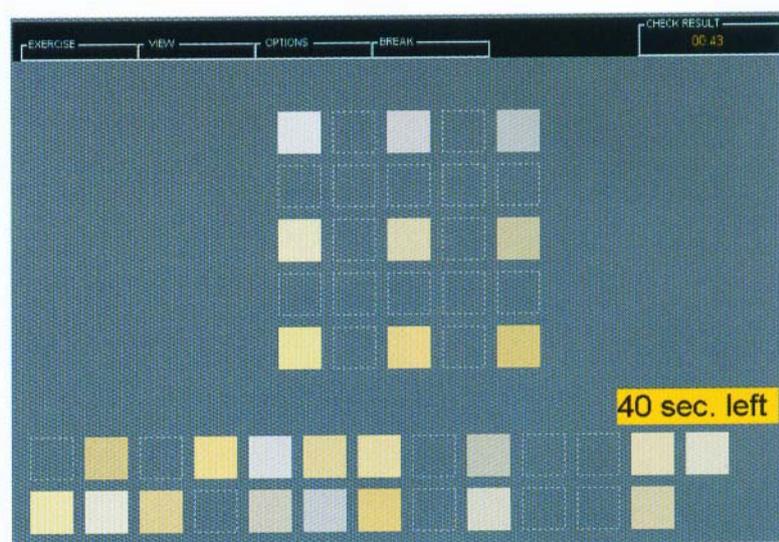


Abbildung 10: I- bzw. T-Set des Softwareprogramms “color training exercises”.

In I1 und T1, den beiden ersten Einführungs- und Trainingsgruppen, sind horizontal die Farbunterschiede in den kleinen Quadraten: Absteigend von links (heller) nach rechts (dunkler) und vertikal: Aufsteigend nach oben bedeutet Abnahme der Farbe, nach unten Zunahme der Farbe.

(Q: PARAVINA RD, POWERS JM: Esthetic color training in dentistry. 2004, Mosby, Inc.)

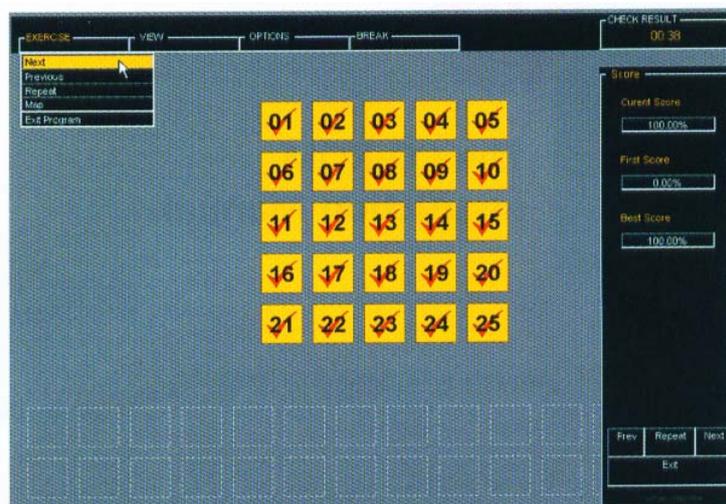


Abbildung 11: I-Set des Softwareprogramms “color training exercises”.

Das Ergebnis zeigt, dass alle Quadrate sowohl horizontal (von hell nach dunkel) als auch vertikal (Zunahme der Farbe) richtig angeordnet wurden.

(Q: PARAVINA RD, POWERS JM: Esthetic color training in dentistry. 2004 Mosby, Inc.)

Das I-Set wurde mit dem Ziel entworfen, den Anwender mit Farbkonzepten und Farbdimensionen vertraut zu machen. Die Farbunterschiede zwischen den benachbarten, kleinen Quadraten im I-Set sind relativ groß. Diese Übungen sind sehr viel einfacher zu lösen als die in den T-Sets, bei denen die Farbunterschiede zu den benachbarten, kleinen Quadraten sehr viel geringer ausfallen.

2.3 Die Physik der Farbe

Drei Elemente sind notwendig, damit eine Farbe überhaupt existieren kann: Licht, ein Objekt und ein Betrachter. Fehlt auch nur ein Element, existiert Farbe, so wie sie uns bekannt ist, nicht.

Im menschlichen Auge werden die verschiedenen Wellenlängen von drei verschiedenen Farbrezeptoren, den Zapfen, wahrgenommen. Wenn Licht, welches aus einer Lichtquelle ausgestrahlt wird mit einem Körper interagiert, so wird ein Teil des Lichtes von diesem Körper absorbiert. Der Teil, der nicht absorbiert sondern reflektiert wird, gelangt zu den Stäbchen und Zapfen (Rezeptorzellen) im Auge, wird dort wahrgenommen und vom Gehirn dann als bestimmte Farbe benannt [6,11]. Von der Dichte und Zusammensetzung des Körpers, welcher vom Licht durchquert wird, ist abhängig, wie hoch die Anzahl der Lichtstrahlen und Frequenzen ist, die absorbiert werden. Die wahrgenommene Farbe ergibt sich aus den Frequenzen, die weitergeleitet werden. Das ganze Licht wird weitergeleitet, wenn der Körper vollständig transparent ist: Bei der sich darstellenden Farbe handelt es sich um Weiß. Ist der Körper vollständig lichtundurchlässig (opak) ist die wahrgenommene Farbe Schwarz, da das ganze Licht absorbiert wurde. Werden einige Frequenzen vom Körper absorbiert und einige weitergeleitet dann entspricht die Farbe den weitergeleiteten Frequenzen [11,12,13].

Die Helligkeit, also die Intensität des Lichtes, wird von den Stäbchen wahrgenommen, die Farbe von den Zapfen. Die drei verschiedenen Typen von Zapfen sprechen auf die Farben Rot, Grün, und Blau an [11,31]. Der „Fingerabdruck“ der Farbe ist das Frequenzmuster, welches das Auge wahrnimmt.

Tabelle Nr.1: Die Wellenlängen der Farben

Die Tabelle zeigt die Wellenlänge des sichtbaren Lichtes, die von 400 nm (Violett) bis 700 nm (Rot) reicht. Jeder Farbton entspricht damit einer bestimmten Wellenlänge.

Farben	Wellenlänge (nm)
Rot	650-800
Orange	590-649
Gelb	550-589
Grün	490-539
Blau	460-489
Indigo	440-459
Violett	390-439

(Q: CHU SJ, DEVICUS A, MIELESZKO AJ: Dentale Farbenlehre. Berlin: Quintessenz, 2005)

2.3.1 Die Additive Farbmischung

Die Additive Farbmischung ist nur mit Licht möglich [38,39,52] (Abbildung 12). Man spricht deswegen von Additiver Farbmischung, weil Lichtenergie zu Lichtenergie addiert wird. Daher werden Rot, Grün und Blau auch als Additive Grundfarben bezeichnet.

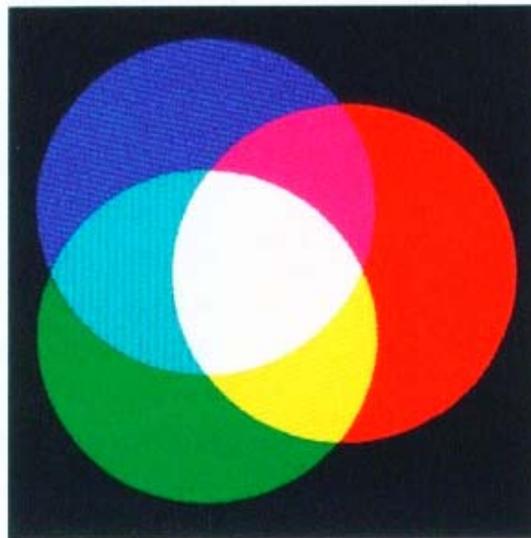


Abbildung 12: Additive Farbmischung

Die Mischung von Rot und Grün ergibt Gelb (Weiß minus Blau), Rot und Blau ergeben Magenta (Weiß minus Grün). Mischt man Grün und Blau so entsteht Cyan (Weiß minus Rot).

(Q: KÜPPERS H: Schnellkurs Farbenlehre. Köln: Du Mont 2005)

2.3.2 Komplementärfarben

Aus der Additiven Mischung zweier Additiven Grundfarben entsteht eine subtraktive Grundfarbe. Die dritte, zur Additiven Bildung von Weiß noch fehlende Farbe nennt man Ergänzungsfarbe (zu Weiß) oder Komplementärfarbe (Abbildung 13). Blau ist komplementär zu Gelb, denn Gelb entsteht aus Grün und Rot, zu Weiß fehlt nur noch Blau.

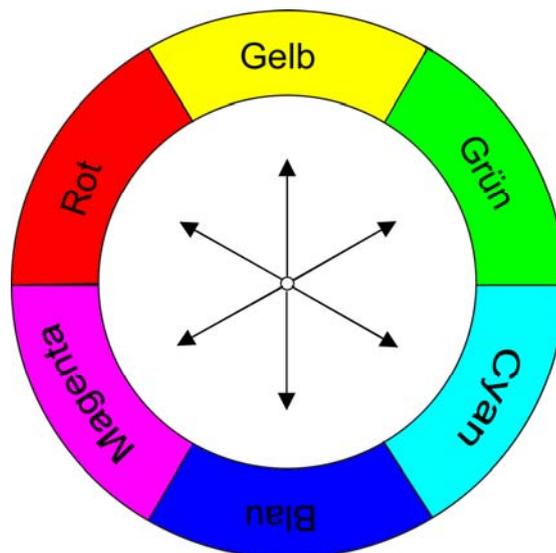


Abbildung 13: Die Komplementärfarben

Dies sind im Farbkreis sich gegenüberliegende Farbwerte die bei additiver Mischung Weiß und bei subtraktiver Mischung Schwarz ergeben.

(Q: <http://images.google.de/>)[19]

2.3.3 Die Subtraktive Farbmischung

Wenn man auf ein weißes Blatt Papier einen Gelbfilter legt, so sieht das Papier gelb verfärbt aus. Einen Teil des weißen, reflektierenden Lichtes wurde durch den Gelbfilter subtrahiert und zwar der Blauanteil aus dem Spektrum. Zurück bleibt der Grün- und Rotanteil. Denn addiert man grünes und rotes Licht entsteht gelbes. Wenn man zusätzlich über den Gelbfilter noch einen Purpurfilter (Magenta) legen würde, so subtrahiert man zusätzlich den Grünanteil. Zurück bleibt der Rotanteil, das Papier

scheint rot. Legt man darüber noch einen Blaugrünfilter (Cyan) so wird auch noch das rote Licht subtrahiert und das Papier erscheint schwarz. Man nennt diese Methode Subtraktive Farbmischung (Abbildung 14) [39,52]. Jeder denkbare Farbton, inklusive Weiß, Schwarz und Grau ist daher durch drei Grundfarben mischbar: Mit Rot, Grün und Blau durch die Additive Mischmethode oder mit Gelb, Magenta und Cyan durch die Subtraktive Mischmethode [38,52].

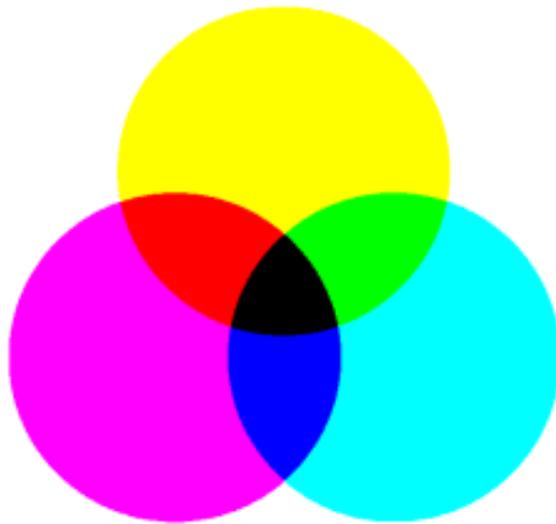


Abbildung 14: Subtraktive Farbmischung

Gelb + Magenta + Cyan = Schwarz. Gelb + Magenta = Rot. Gelb + Cyan = Grün. Magenta + Cyan = Blau. Die Sättigung der entstehenden Farben ist höher als die der Ausgangsfarben, dies geschieht durch Subtraktion von Energie.

(Q:<http://www.metacolor.de/additiv-substraktiv.htm>) [64]

2.4 Der Aufbau des menschlichen Auges

Das optische System des Auges entwirft auf der Netzhaut ein verkleinertes und umgekehrtes Bild der Umwelt. Das Auge (Abbildung 15) besteht aus der durchsichtigen Kornea, den vorderen und hinteren Augenkammern, die mit Kammerwasser gefüllt sind, der die Pupille bildenden Iris, der Linse und dem Glaskörper. Die Retina kleidet die hintere innere Oberfläche des Auges aus. Ein Gefäßnetz, die Choroidea, füllt den Raum

zwischen der Retina und der den Augapfel bildenden festen Sklera aus. Die Retina weist am hinteren Pol des Auges eine kleine Grube auf, die Fovea centralis, die Stelle des schärfsten Sehens bei Tageslicht [28,31,61].

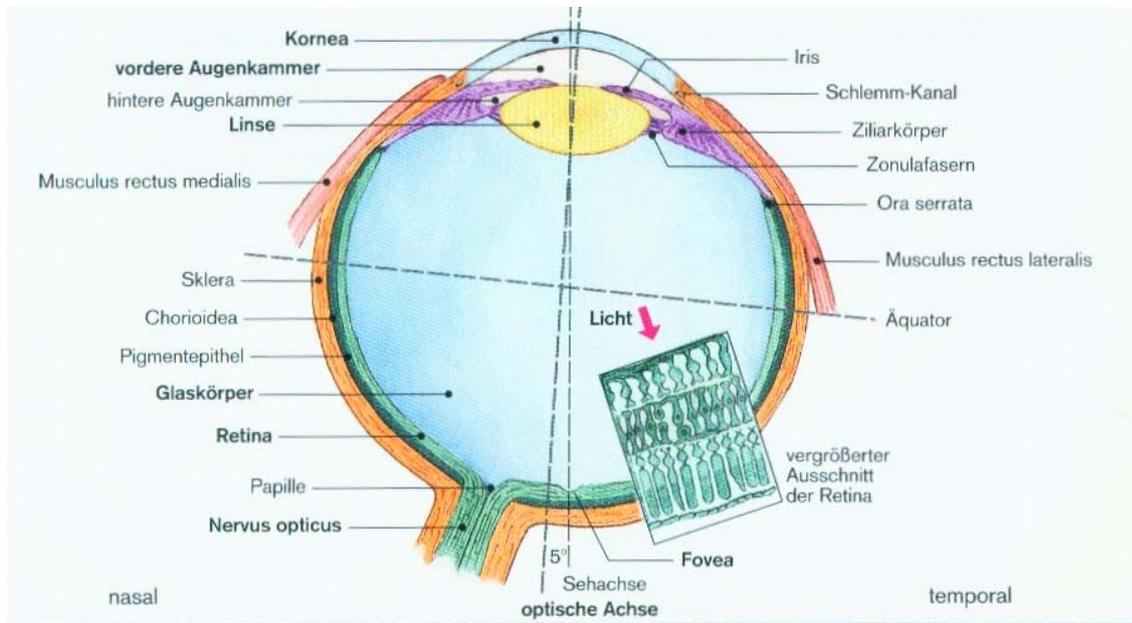


Abbildung 15: Querschnitt durch das menschliche Auge

(Q: KLINKE R, SILBERNAGL S: Lehrbuch der Physiologie. 2.Aufl., Stuttgart/New York: Georg Thieme 1996/2000)

2.4.1 Wie funktioniert Farbsehen?

Die Welt sieht bunt aus obwohl sie dies gar nicht ist. Denn ohne die Augen gäbe es überhaupt keine Farben, sondern nur elektromagnetische Wellen mit unterschiedlichen Wellenlängen. Bei Nacht, so sagt ein Sprichwort, sind alle Katzen grau. Dies liegt jedoch nicht an den Tieren, sondern an unserer Netzhaut [30]. Zwei Arten von Photorezeptoren befinden sich in der Retina: Rund einhundertzwanzig Millionen Stäbchen und rund sieben Millionen Zapfen. Die Netzhaut besteht aus mehreren Schichten: Die erste beinhaltet die Sehzellen, welche jeweils die Erregung auf eine Bipolarzelle der zweiten Schicht weiterleiten. Von hier aus erfolgt die Erregungsweiterleitung in die dritte Schicht auf eine Ganglienzelle, deren Axone den Sehnerv bilden.

Die Stäbchen dienen dem Sehen in der Dämmerung, sie sind die Rezeptoren des Hell-Dunkel-Sehens. Sie sind 1000 - mal lichtempfindlicher als die Zapfen und ermöglichen uns, Grauabstufungen zwischen Schwarz und Weiß vorzunehmen. Die Zapfen sind dagegen bei hellem Tageslicht aktiv; sie sind die Rezeptoren des Farbsehens. Mit Hilfe der Zapfen ist es uns möglich Farben unterscheiden zu können. Die Stäbchen und Zapfen sind nicht gleichmäßig über die Retina verteilt. Im Mittelpunkt der Netzhaut liegt der gelbe Fleck, in dessen Zentrum sich nur Zapfen befinden (Fovea centralis). Somit ist nur an dieser Stelle ein exaktes Wahrnehmen von Farben möglich. Auf der anderen Seite ist diese Stelle bei Nacht blind. Somit verschwinden lichtschwache Objekte, wenn man sie in der Dämmerung fixiert. Am Rande der Netzhaut befinden sich dagegen nur Stäbchen. Diese Zone ist somit farbenblind. In der Umgebung der Fovea centralis kommt auf zwei Stäbchen ein Zapfen [8,20,61].

Von den Zapfen gibt es drei verschiedene Typen, die im Bereich des sichtbaren Lichtes besonders empfindlich sind. Der S-Zapfen (vom englischen „short wave length“) im kurzwelligen Spektrum – blau; der M-Zapfen (vom englischen „medium wave length“) im mittelwelligen Spektrum – grün; und der L-Zapfen (vom englischen „long wave length“) im langwelligen Spektrum – rot [4,46]. Lange Zeit hielt sich die Vorstellung, dass die Wellenlänge der Strahlungsenergie, von einem Körper ausgehend, auch dessen Farbe bestimmt. Heute weiß man, dass die Farbzellen der höheren Sehrindenabschnitte mehr zur Farbwahrnehmung beitragen als bisher angenommen. Im zentralen Sehsystem werden die von einem Körper ausgehenden Wellenlängen als Signal in Relation zur Umgebung im Gesichtsfeld gesetzt. Somit ist es auch unter wechselnden Lichtverhältnissen möglich, Farben relativ unverändert wahrnehmen zu können [34].

2.4.2 Individuelle Farbwahrnehmung

Die individuelle Wahrnehmung von Farbe ist nicht gleich bleibend; wenn man ein Auge für neunzig Sekunden bedeckt so verändert sich die Farbwahrnehmung und dass obwohl die Lichtquelle, der Betrachter und das betrachtete Objekt immer gleich bleiben [26]. Achromatische und chromatische Farbkontraste (mentale Reinterpretation) und Nachbilder haben ebenso einen entscheidenden Einfluss auf die Farbwahrnehmung. Das gleiche gilt für Gefühle; bei selbigen vergrößert bzw. verkleinert sich die Pupille,

daher ist die Farbsensibilisierung der Retina nicht gleich bleibend [7,55]. Der Alterungsprozess wirkt sich auch auf die Farbwahrnehmung aus: Die Kornea und die Linse werden mit zunehmenden Alter gelblich, was sich bei der Wahrnehmung von Blau- und Violett-Tönen bemerkbar macht. Nicht zu vergessen sind bestimmte chronische Erkrankungen und die Einnahme von Arzneimitteln [7,24,58].

Wichtig zu wissen ist, ob man Farbsichtig ist oder nicht. Sollte eine Farbfehlsichtigkeit existieren, so muss dies bei einer Zahnfarbbestimmung berücksichtigt werden, um trotzdem ein befriedigendes Ergebnis für den Patienten und sich selbst zu garantieren [16,40,53,71].

2.5 Die Zahnfarbe

Die verschiedenen Farbnuancen und das variable Farbspiel sind das faszinierende an natürlichen und gesunden Zähnen: Kein Zahn gleicht dem anderen [25]. Die Zahnfarbe entsteht durch das Auftreten von Licht auf der Zahnoberfläche. Bestimmte Anteile werden gestreut, ein Teil des Spektrums wird resorbiert und der andere reflektiert. Durch die lichteptischen Effekte der einzelnen Bestandteile des Zahnes sowie der kristallinen Form des Dentin und des Schmelzes entsteht ein Farbeindruck. Ein Teil des Lichtes wird von der Zahnoberfläche reflektiert, bedingt durch die Oberflächentextur und den Einfallswinkel. Der restliche Anteil diffundiert in den Zahn und wird an den Prismen des Dentins und den Kristallen des Schmelzes gebrochen oder gestreut. Die Remission einer bestimmten Wellenlänge - und damit die Farbgestaltung - werden von der Größe und Struktur der Kristalle bestimmt. Der feine kristalline Schmelz und die hohe Transparenz erzeugen einen gräulichen Ton, das prismatische Dentin einen Gelbton [36]. Sehr deutliche Farbunterschiede sind zwischen den Inzisiven und den Eckzähnen erkennbar. Dies ist umso ausgeprägter, je dunkler die Zahnfarben sind und je älter der Mensch ist. So haben jüngere Menschen zumeist eher hellere, gelbliche Zähne. Bei einem älteren Menschen ist dagegen durch Einlagerung von Farbpigmenten und Umstrukturierung der Zahnhartsubstanzen die Zahnfarbe eher dunkler und grauer [25]. Die Dicke und der Transparenzgrad des Schmelzes, die gelbliche Eigenfarbe des Dentins sowie die Pulpa beeinflussen die klinische Farbe der Krone eines vitalen Zahnes. Dies gilt jedoch nur bei festgelegten Lichtverhältnissen, denn durch unterschiedliche Phänomene kann die Farbwahrnehmung beeinträchtigt werden. Unzulängliche Mundhygiene, Nahrungsbedingte Eigenschaften (Kaffee, Tee, Rotwein, Nikotin) und Medikamente beeinträchtigen mit der Zeit die Zahnfarbe erheblich. Weiterhin nehmen endodontisch behandelte Zähne eine meist graue Zahnfarbe an. Ebenso gilt: je dünner der Zahnschmelz umso gelblicher erscheinen die Zähne, weil das unter dem Schmelz befindliche Dentin durchschimmert. An den Schneidekanten wirkt sich dieser Effekt mangels darunter liegendem Dentin in einer bläulich-transparenten Zahnfarbe aus [23].

2.5.1 Die Bestimmung der Zahnfarbe

Der Sinneseindruck „Farbe“ basiert auf mehreren Einflussgrößen: Die Art der Beleuchtung (Glühlampen- oder Tageslicht) sowie deren Intensität und die optischen Eigenschaften des Zahnes. Das menschliche Auge erreicht bei Beleuchtungsintensitäten von 2000 Lux (Lichtstrom pro Flächeneinheit, Einheit: Lux) eine optimale Farbauflösung. Dies entspricht einer Beleuchtungsintensität von diffusem Nordlicht zur Mittagszeit. Wenn die Lichtintensitäten zu niedrig sind (<1000 Lux) dominiert die Grauwertunterscheidung; bei zu hohen Lichtintensitäten (>8000 Lux) hingegen kommt es zu einer Überreizung der Zäpfchenrezeptoren der Netzhaut woraus ein Blendeffekt resultiert [22,26,44,63].

Laut statistischen Untersuchungen [5] können 65% der prothetischen Restaurationen nicht beim ersten Termin eingesetzt werden, da durch fehlerhafte Zahnfarbenbestimmung die Arbeit komplett neu angefertigt werden musste oder aber zur Korrektur zurück in das zahntechnische Labor geschickt wurde. Somit sinkt das Vertrauen des Patienten in seinen Zahnarzt, das Image der Praxis wird bedroht und es entstehen darüber hinaus unnötige Ausfallzeiten, sowohl für den Zahnarzt als auch für den Zahntechniker. 80% der Patienten bemerken den Farbunterschied zwischen den eigenen Zähnen und ihrem Zahnersatz [18].

Im Zusammenhang mit einer fehlerfreien Zahnfarbenbestimmung stehen natürlich folgende Fragen: Sind der Zahnarzt, die Zahnarthelferin und der Zahntechniker farbsehtüchtig? Erscheinen jedem Menschen die Farben gleich? Kann man Farben mitteilen?

Vorraussetzung ist natürlich die Farbsehtüchtigkeit, welche mit verschiedenen Farbsehtests (Lanthony-, Farnsworth- und Ishihara Farbsehtest) festzustellen ist: Zum anderen sind konstante Lichtverhältnisse notwendig. Ideal ist diffuses Tageslicht zwischen zehn und zwölf Uhr, an einem nach Norden ausgerichteten Fenster. Eine Zahnfarbbestimmung sollte niemals in direktem Sonnenlicht oder bei stark bewölktem Himmel stattfinden. Da das Sonnenlicht vielen Schwankungen unterworfen ist, sollte man konstante Lichtverhältnisse mit einer Leuchtstofflampe, deren Licht dem des Tageslichtes entspricht, den Vorzug geben. Die idealen physikalischen Werte hierzu sind: Eine Farbtemperatur zwischen 5000 und 5500K (Grad Kelvin) und eine Helligkeit zwischen 1200 und 1500 Lux. Am Patienten selbst sollten während der

Zahnfarbbestimmung keine Intensiven Umgebungsfarben vorhanden sein. Hierzu gehören intensive Make-ups, Lippenstifte, farbige Oberbekleidung und eine farbige Umgebung [5].

Zur visuellen Farbbestimmung stehen von der Industrie verschieden definierte Farbringe mit standardisierten Mustern zur Verfügung. Diese Farbsysteme decken den Farbbereich der natürlichen Zähne mehr oder weniger ab. Sie dienen zur Bestimmung der Grundfarbe eines Zahnes, die in der Mehrheit der Fälle noch individuell modifiziert werden muss, da den herkömmlichen Farbsystemen Inkonsistenzen nachgewiesen wurden. Der Vita Classical Farbring (VITA, Bad Säckingen, Deutschland) zeigt im Vergleich mit extrahierten Zähnen eine zu niedrige Sättigung und eine zu hohe Helligkeit [11,41,42,43]. Die VITA-Lumin-A3 Musterzähne unterscheiden sich bei den verschiedenen Farbringen oder sogar innerhalb eines Farbringendeselben Herstellers [10,11]. Der Vitapan 3D-Master (VITA) und VITA Classical Farbring sowie der Chromaskop Farbschlüssel (Ivoclar-Vivadent, Amherst, NY) sind die Farbsysteme, die derzeit am weitesten verbreitet sind [10].

2.5.2 Vita Classical Farbring

In diesem Farbsystem sind die Farben in folgende Gruppen unterteilt: A1-A4 rötlich-bräunlich, B1-B4 rötlich-gelblich, C1-C4 Grautöne und D2-D4 rötlich-grau; die Farbe steht also im Vordergrund (Abbildung 16).



Abbildung 16: Der VITAPAN Classical Farbring

Für die Farbbestimmung am Patienten geht man mit diesem System folgendermaßen vor: Die Bestimmung der Zahnfarbe erfolgt vor der Behandlung, da die natürlichen Zähne während der Behandlung austrocknen und bis zu zwei Stufen heller erscheinen können. Derjenige, der die Zahnfarbe bestimmt, sitzt in einer Entfernung von 50 bis 70 cm vom Patienten entfernt; das Licht sollte seitlich in einem Winkel von 45 Grad einfallen. Es erfolgt die Auswahl der Farbgruppe. Um das schnell ermüdende Auge zu erholen, sollte der Blick während der Farbnahme ab und zu für zehn Sekunden in die Ferne abweichen und auf einen möglichst hellgrauen Gegenstand gerichtet werden. Auf einem Formblatt werden schließlich die einzelnen Charakteristika der Zähne (Schichtung, Transparenz, Opaleszenz, Form und Textur) eingezeichnet.

2.5.3 Chromaskop Farbring

Dieses System verwendet zur Farbidentifikation ein Nummernsystem. 20 Farben sind in fünf herausnehmbare Farbgruppen unterteilt (100er, 200er, 300er, 400er und 500er) (Abbildung 17). Bei der Zahnfarbenbestimmung mit diesem Farbschlüssel erfolgt zunächst eine Typenzuordnung, wobei sich nach Haar-, Haut- und Augenfarbe gerichtet wird. Es wird unterschieden zwischen Gelbtonigen (Frühlings- und Herbsttypen) und grautonigen Grundtypen. Der Frühlingstyp: Goldenes bis mittelblondes Haar, hellgraue Augen; zartrosa-blasser Haut; dies entspricht der 200er/300er Zahngruppe im Farbschlüssel. Der Herbsttyp: Mittelblondes bis rotes Haar, dunkelblaue, grüne Augen, blasser, rötlicher Haut mit Sommersprossen; dies entspricht hauptsächlich der 300er Zahngruppe (Varianten aus der 200er Gruppe sind möglich). Der Sommertyp: Aschgraues bis mittelbraunes Haar, graublauer Augen, zartrosa blasser Haut; dies entspricht der 100er Zahngruppe (mögliche Varianten finden sich in der 400er und 500er Gruppe). Der Wintertyp: Dunkelbraunes bis schwarzes Haar, (eis-) blaue oder (eis-) grüne, dunkelblaue Augen, blass-gelbliche Haut; dies entspricht der 400er und 500er Zahngruppe (Varianten sind in der 100er Gruppe zu suchen) [32].



Abbildung 17: Chromascop-Farbschlüssel

20 Farben sind in fünf herausnehmbare Farbgruppen unterteilt.

2.5.4 Vitapan 3D-Master Farbring

Der Vita 3D-Master-Farbring spiegelt das farbmetrische dreidimensionale Ordnungsprinzip wieder. Zunächst wird die Helligkeit, dann die Intensität und zum Schluss der (Farb-) Ton festgelegt (HIT). Auch mit diesem Farbsystem erfolgt die Farbbestimmung vor der Behandlung. Aus fünf Helligkeitsstufen wird die vorhandene Helligkeit ausgewählt, mit der dunkelsten wird begonnen. Danach erfolgt die Auswahl der Farbintensität: aus der gefundenen Helligkeitsgruppe wird der mittlere Farbfächer entnommen, seitlich aufgeklappt und dann eines der drei Farbmuster ausgewählt. Zum Schluss wird der Farbton ausgesucht: es wird überprüft, ob der natürliche Zahn gelber oder rötlicher ist als das ausgesuchte Farbmuster (Abbildung 18) [2,5,70].



Abbildung 18: Vitapan 3D-Master-Farbring

Die Abbildung zeigt den Vitapan 3D-Master Farbring mit den Helligkeitsstufen 1 (hell) bis 5 (dunkel). Die Buchstaben L, M und R charakterisieren die Intensität und den Farbton innerhalb der entsprechenden Helligkeit (L= gelblicher und R= rötlicher als der mittlere Farbton M)[69].

3 Ziel der Untersuchung

Das Ziel der durchgeführten Studie war es zu belegen, dass durch Anwendung des Toothguide-Trainers (Software) und der Toothguide-Training-Box (Hardware), basierend auf dem Vitapan 3D-Master-Farbring, die Zahnfarbdifferenzierung lernbar ist.

Die wenigen bisher durchgeführten Studien kamen hinsichtlich dieser Fragestellung zu dem Ergebnis, dass das wiederholte Üben sowohl mit der Software als auch mit der Hardware zu besseren Ergebnissen bei der Bestimmung von Zahnfarben führte, als ohne Übungen. [29,35].

Darüber hinaus wurde in der vorliegenden Untersuchung überprüft, ob sich der Vitapan-Classical- oder der 3D-Master-Farbring besser zur Bestimmung von Zahnfarben eignet und mit welchem demzufolge die besseren Ergebnisse erreicht werden.

Die in dieser Studie überprüfte Nullhypothese besagte, dass sowohl das Softwareprogramm Toothguide-Trainer sowie die Toothguide-Training-Box keinen Einfluss auf die Erlernbarkeit der Zahnfarbdifferenzierung besitzen.

4 Material und Methode

An der Studie nahmen 77 sowohl männliche als auch weibliche Studenten der Zahnklinik-Süd der Charité Berlin teil. Sie waren im Alter zwischen 20 und 33 Jahren. Es erfolgte eine Einteilung der Studenten nach Randomisierung in eine Studien- und eine Kontrollgruppe. Beide Gruppen mussten sich zunächst drei Farbsehtests unterziehen; hierzu gehörten der Lanthony-, Farnsworth- und der Ishihara-Test.

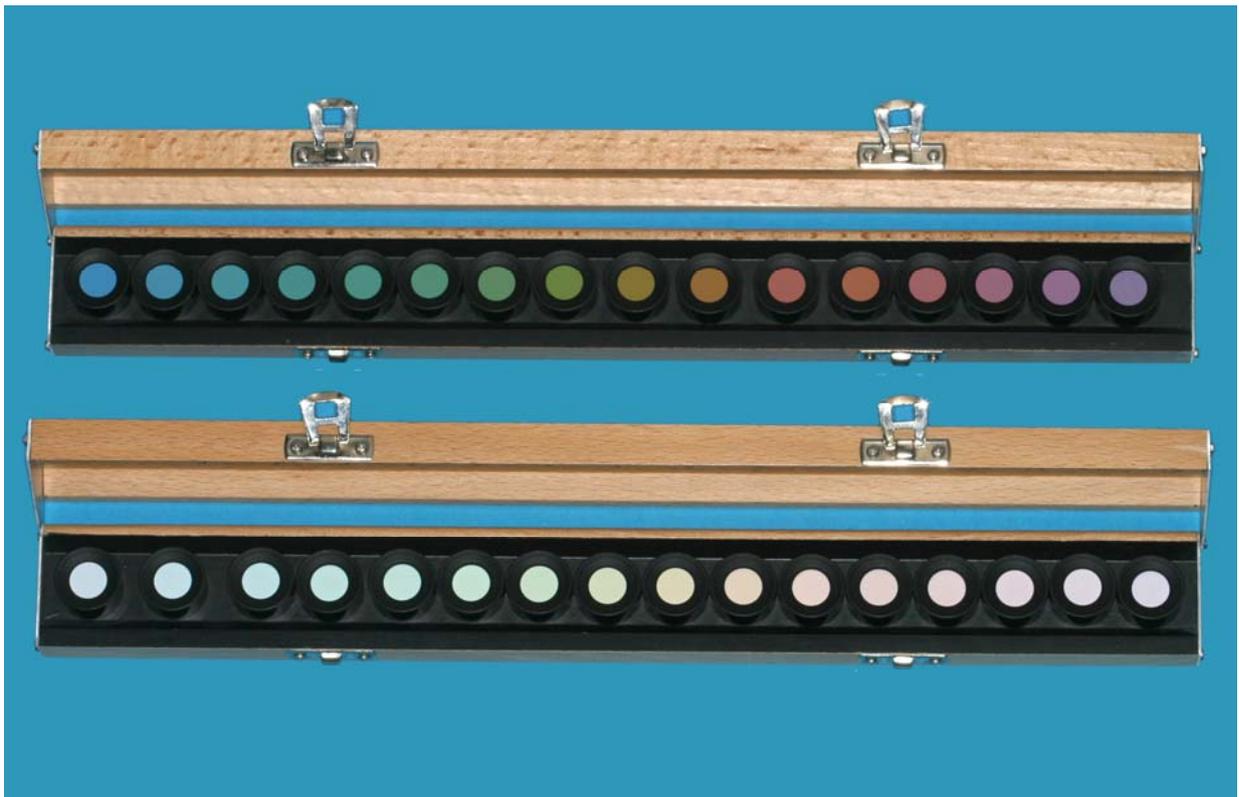


Abbildung 19: Farnsworth und Lanthony Farbsehtest.

Die obere Box zeigt den Farnsworth, die untere den Lanthony Farbsehtest. Mit diesem Test können ausgeprägte Farbsehstörungen erkannt werden. Ziel ist es die Farbknöpfe in die richtige Reihenfolge zu bringen. Zahlen am Boden dieser Farbknöpfe zeigen dann, nach Verschließen und Umdrehen der Box, das Ergebnis.

4.1 Durchführung der Farbsehtests

Der Farnsworth-Farbsehtest besteht aus einer Box, in der sich eine bestimmte Anzahl an Farbknöpfen befindet (Abbildung 19).

Ein blauer Farbknopf ist der Referenzpunkt, er lässt sich im Gegensatz zu den anderen Farbknopfen nicht aus der Box entfernen. Die Farbkнопfe werden aus der Box entnommen und durchgemischt. Ziel dieses Tests ist es die Farbkнопfe der Reihe nach zu ordnen, angefangen von blau über grün, gelb, rot bis lila. Danach wird die Box verschlossen, einmal um 180 Grad gedreht und wieder geöffnet. Auf dem Boden der Farbkнопfe befinden sich Zahlen von eins bis 16. Anhand der richtigen Zahlenreihe lässt sich erkennen, ob alles richtig gemacht wurde. Der „Lanthony Desaturated Panel D 15“-Test leitet sich vom „Farnsworth dichotomous Test D 15“ ab. Im Vergleich zum Farnsworth-Test, mit dem vor allem deutlich ausgeprägte Farbsehstörungen erkannt werden können, sind die Farben des Lanthony D 15 in der Helligkeit erhöht und in der Farbsättigung vermindert (Abbildung 19). So wird auch die Diagnose schwächerer erworbener Minderungen der Farbdiskrimination deutlich.

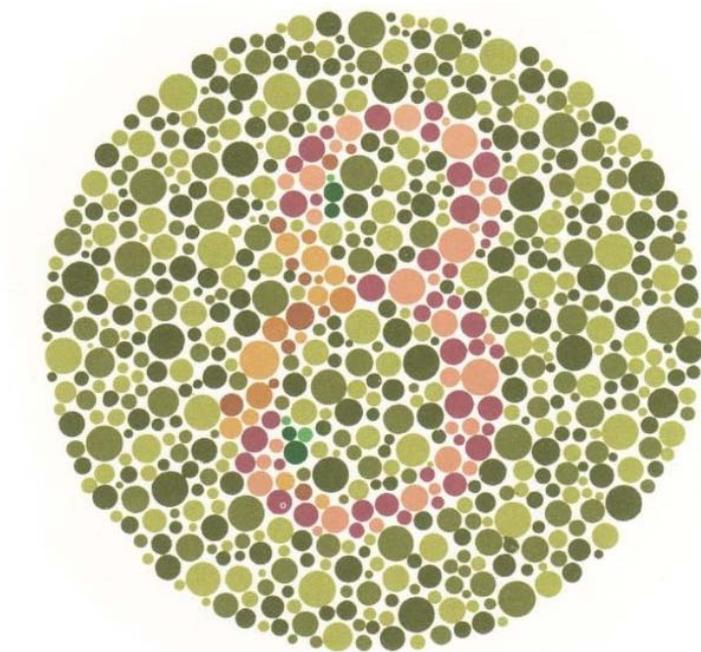


Abbildung 20: Der Ishihara-Test

Die Abbildung zeigt eine Tafel des Ishihara-Test: Ähnliche Farben werden in gleichem Kontrast nebeneinander abgebildet. Durch den Druck der verschiedenen Farben in gleicher Helligkeit hat der Farbschwache oder Farbblinde ein Problem die Zahl zu erkennen.

(Q: www.fiene.de)[17]

Anschließend wurde der Farbsehtest nach Ishihara durchgeführt der zur Diagnose von Störungen des Rot-Grün-Sehens angewendet wird (Abbildung 20). Innerhalb von Farbkreisen müssen Zahlen (andersfarbig) erkannt werden. Werden keine oder falsche Zahlen gelesen, könnte dies ein Zeichen einer Rot-Grün-Blindheit sein. Beim Betrachten der einzelnen Bilder ist es wichtig, einen Abstand von 75 cm einzuhalten. Alle drei Tests müssen bei normalem Tageslicht durchgeführt werden, da künstliches Licht andere Farben vortäuschen kann und damit zu falschen Ergebnissen führt.

4.2 Anwendung der Software Toothguide Trainer

Nach Randomisierung wurde die Studiengruppe mit dem Softwareprogramm des Toothguide-Trainers vertraut gemacht (Abbildung 21). Die Kontrollgruppe übte mit diesem Programm nicht.



Abbildung 21: Das Softwareprogramm „Toothguide Trainer“

Es ist eine Art PC-Spiel, basierend auf dem Vita 3-D-Master Toothguide. Das Toothguide-Trainer-Software Programm bietet drei Übungen zum Erlernen der Farberkennungen und einen abschließenden Test. Die ersten drei Übungen liefern keine echte Punktzahl, vielmehr muss eine übungsabhängige Anzahl von Zahnfarben richtig erkannt werden - jede richtig erkannte Zahnfarbe liefert einen Punkt. Die Vorgaben sind in der ersten Übung (der Auswahl der richtigen Helligkeit) vier Zähne, in der zweiten (Auswahl der richtigen Helligkeit und Intensität) acht Zähne und in der dritten Übung (Auswahl der richtigen Helligkeit, Intensität und Farbton) 15 Zähne. Beim abschließenden Test können maximal 1000 Punkte erreicht werden (fünfzehn von fünfzehn Zähnen korrekt erkannt). Die tatsächliche Punktzahl je Zahn richtet sich nach dem Abstand im Farbraum zwischen dem gewählten und dem korrekten Zahn. Eine Zahnfarbe wird vom Programm ausgesucht: Dies geschieht nach dem Zufallsprinzip. In der ersten Stufe des Programms wird die Helligkeit mit dem Vita-System-3D-Master aus den Gruppen 1, 2, 3, 4 oder 5 ausgewählt. Damit sind schon 60% der Farbe definiert. Mit dem zweiten Schritt, der Festlegung der Farbintensität, sind bereits 90% erreicht. Hierfür wird zunächst, wie in der ersten Stufe, die Helligkeit ausgewählt. Anschließend wird aus der ausgesuchten Helligkeitsgruppe der mittlere Farbfächer für die Wahl der Farbintensität herangezogen und Nr. 1, 2 oder 3 gewählt. Im dritten und letzten Schritt, für die verbleibenden 10 %, muss nach Festlegung der Helligkeit und Farbintensität entschieden werden, um welchen Farbton (gelblich oder rötlich) es sich handelt. Die Studiengruppe durchlief dieses Programm fünf Mal; der Punktestand wurde nach ersten und fünften Durchlauf sowie dem nachfolgendem Abschlusstest schriftlich festgehalten (siehe Tabelle 2).

4.3 Anwendung der Toothguide Training Box

Anschließend wurde die Studiengruppe mit der Toothguide-Trainings-Box vertraut gemacht (Abbildung 22).



Abbildung 22: „Toothguide Training Box“ mit abnehmbarer Tageslichtlampe

In dieser Box sind 50 verschiedene Zähne aus keramischem Material, basierend auf dem 3D-Master-Toothguide, auf einem Rad aufgesteckt. Dieses Rad dreht und stoppt computergesteuert. Der durch eine Öffnung zu sehende Zahn, ebenfalls per Zufallsprinzip angeboten, muss dann per Knopfdruck mit einem auf beweglichen Halterungen befestigten Pendant verglichen werden. Auch hier erfolgt die Farbauswahl zunächst nach der Helligkeit, dann nach der Farbintensität und letztlich nach dem Farbton. Dies geschieht unter Zuhilfenahme einer Tageslichtlampe. Die Lampe (Firma Eickhorst) hat eine Helligkeit von 1000 Lux bei zehn cm Abstand und ist mit 5700 K angegeben.

Bei der Toothguide-Training-Box gibt es genau wie bei dem PC-Spiel unterschiedliche Levels und einen Punktestand. Es wird im ersten Schritt aus den Helligkeitsgruppen 1-5 diejenige Zahnfarbe ausgewählt, die zu dem durch die Öffnung zu sehenden Muster identisch ist. Dazu gibt es ein Steuerungselement rechts über der Öffnung der Toothguide-Training-Box, welches dem Nutzer bei der Auswahl behilflich ist. Somit kann man im zweiten Schritt innerhalb der mittleren Farbfächer die Farbintensität und im dritten Schritt den Farbton festlegen. Die Studiengruppe durchlief einmal die gesamten Levels, die einzelnen Punktestände wurden notiert ebenso die des Abschlusstests (siehe Tabelle 3).

Die Kontrollgruppe nahm an dieser Schulung nicht teil; es erfolgte hier ein händisches Üben an Vorlagezähnen.

4.4 Zahnfarbbestimmung

Nun wurde bei einer Patientin, die im Oberkiefer zahnlos war und eine Totalprothese im Oberkiefer trug ein Duplikat selbiger angefertigt (Abbildung 23).



Abbildung 23: Die Duplikatprothese

Die Zähne 15 bis 25 wurden jeweils in einer anderen definierten 3D-Master Farbe aufgestellt.

Von der Studien- und der Kontrollgruppe wurde eine Zahnfarbbestimmung bei der Patientin mit der Duplikatprothese vorgenommen. Die Aufgabe war es, alle zehn Zahnfarben einmal mit dem 3D-Master Farbring und anschließend nochmals mit dem Vita-Classical-Farbring zu bestimmen. Somit konnte nach der Zahnfarbbestimmung an der Patientin kontrolliert werden, wie nah oder wie weit entfernt die Studenten von der „tatsächlichen“ Zahnfarbe entfernt waren.

4.5 Statistische Auswertungen

Die Ergebnisse beider Gruppen wurden miteinander verglichen. Angewendet wurden hier der Mann-Whitney-Test sowie der Chi-Quadrat-Test. Der Mann-Whitney-Test ist ein Signifikanztest der den Unterschied der zentralen Tendenzen zweier unabhängiger Gruppen testet. Er dient in der Statistik als mathematischer Beweis dafür, ob die Nullhypothese einer Untersuchung verworfen werden kann oder nicht. Die Nullhypothese ist eine Annahme über die Wahrscheinlichkeitsverteilung einer Zufallsvariablen.

Mit dem Chi-Quadrat-Test werden Verteilungseigenschaften einer statistischen Grundgesamtheit untersucht.

5 Ergebnisse

5.1 Abschlusstest Toothguide-Trainer-(Software und –Box)

Die Tabelle Nr.2 zeigt die Ergebnisse der Probanden der Studiengruppe nach erstmaligem und fünfmaligem Durchlauf des Softwareprogramms Toothguide-Trainer. In der ersten Übung geht es um die Auswahl der richtigen Helligkeit, in der zweiten um die Auswahl der richtigen Helligkeit und Intensität und in der dritten Übung um die Auswahl der richtigen Helligkeit, Intensität und den Farbton. In sich jeweils anschließenden Abschlusstest können maximal 1000 Punkte erreicht werden. Die Tabelle Nr.3 beinhaltet die Ergebnisse der Studiengruppe nach einmaliger Übung an der Toothguide-Training-Box. In den drei Übungen geht es, wie beim Software-Programm um die Auswahl der Helligkeit, der Helligkeit und Intensität und letztlich um die Auswahl Helligkeit, Intensität und den Farbton. Der Abschlusstest kann mit maximal 1000 Punkten absolviert werden.

Tabelle 2: Erster und fünfter Durchlauf der Probanden der Studiengruppe mit dem Softwareprogramm Toothguide Trainer: jeweils 3 Übungseinheiten und nachfolgendem Abschlusstest. Gelb markiert sind die 6 Probanden, die Auffälligkeiten in den Farbsehtests zeigten.

Proband	Erster Durchlauf				Fünfter Durchlauf			
	Übung 1	Übung 2	Übung 3	Abschlusstest	Übung 1	Übung 2	Übung 3	Abschlusstest
1	8	84	152	445	6	80	150	440
2	7	60	108	420	6	83	110	480
3	6	70	152	502	7	93	144	520
4	7	110	129	465	9	79	140	425
5	6	84	144	520	8	71	152	502
6	3	29	152	350	6	83	144	412
7	6	100	338	728	12	105	345	740
8	7	104	295	759	10	118	315	960
9	10	104	277	878	14	117	318	890
10	8	105	295	754	11	121	345	740
11	10	93	300	891	12	111	326	954
12	9	110	328	862	10	109	344	891
13	10	106	152	780	12	123	300	910
14	12	104	300	670	12	109	330	970
15	10	111	340	960	14	117	345	988
16	11	100	260	980	14	121	345	970
17	10	54	144	520	14	75	249	986
18	11	107	317	754	14	118	339	888
19	12	111	300	945	14	121	319	970
20	11	93	308	947	12	117	355	989
21	12	93	299	852	14	118	300	912
22	10	105	286	789	12	118	331	888
23	8	102	300	688	14	121	327	752
24	12	100	305	858	14	105	336	929
25	11	97	319	717	13	100	327	847
26	6	71	277	545	8	93	299	851
27	11	107	317	847	12	111	330	951
28	10	82	300	860	12	88	321	959
29	14	111	344	883	14	121	345	950

Tabelle 3: Einmaliger Durchlauf der Probanden der Studiengruppe an der Toothguide-Training-Box mit drei Übungseinheiten und nachfolgendem Abschlusstest. Gelb markiert sind die 6 Probanden, die Auffälligkeiten in den Farbsehtests zeigten.

Proband	Übung 1	Übung 2	Übung 3	Abschlusstest
1	8	80	140	440
2	7	83	100	490
3	7	79	140	515
4	8	112	128	389
5	9	65	100	445
6	9	95	145	345
7	14	118	344	754
8	12	111	345	989
9	12	118	326	888
10	14	100	344	986
11	12	117	330	970
12	14	111	338	952
13	11	118	319	929
14	14	106	339	854
15	12	100	344	989
16	14	111	336	990
17	14	100	310	952
18	14	121	345	920
19	12	100	330	986
20	14	121	334	1000
21	14	117	355	957
22	14	100	339	947
23	12	111	345	888
24	14	117	344	954
25	14	105	330	900
26	12	100	327	823
27	14	97	300	960
28	14	117	328	1000
29	12	117	344	960

Die Abbildung 24, als Box-Plot dargestellt, zeigt einen deutlichen Unterschied zwischen den Ergebnissen vom ersten und fünften Durchlauf, vor allem von den Farb- und Farbfehlsichtigen. In der Studiengruppe gab es 29 Probanden, von denen sechs Personen Auffälligkeiten in mindestens einem der drei Farbsehtests (Lanthony, Farnsworth und Ishihara) aufwiesen. Bei den Farbfehlsichtigen ist kein Anstieg der Punktzahl hinsichtlich der Abschlusstests zu verzeichnen, bei den Farbsichtigen ist jedoch eine deutliche Steigerung der Punktzahl zu erkennen. Wenn es Abweichungen von der tatsächlichen Zahnfarbe gab, so waren diese gering.

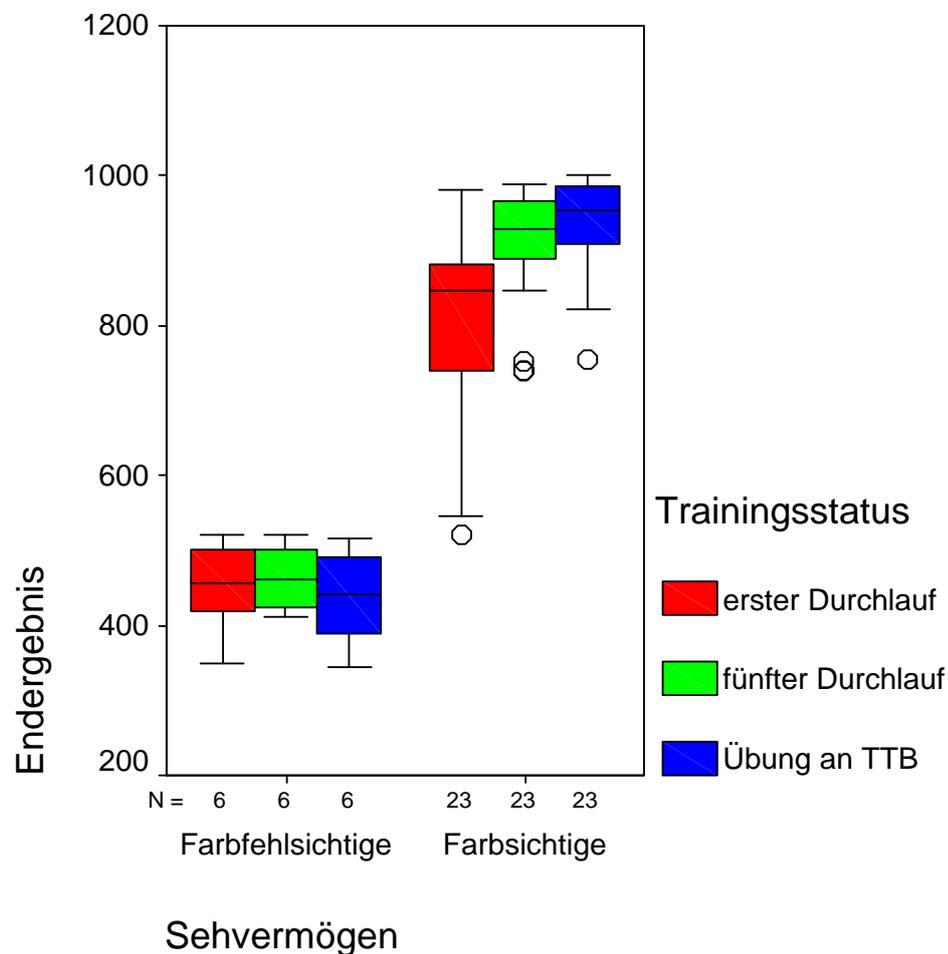


Abbildung 24: Abschlusstest Toothguide - Trainer-Software/ und - Box im Vergleich

Die Abbildung zeigt auf der linken Seite die Ergebnisse der Farbfehlsichtigen, rechts der Farbsichtigen. Rot zeigt den Punktestand des Abschlusstests nach einmaligem, grün nach fünfmaligem Durchlauf der Toothguide-Trainer-Software. Blau zeigt den Punktestand des Abschlusstests nach einmaligem Durchlauf an der Toothguide-Training-Box.

5.2 Die Ergebnisse der Zahnfarbenbestimmung

Die 48 Probanden in der Kontrollgruppe bestimmten bei der Patientin mit der Duplikatprothese im Oberkiefer die Zahnfarbe mit dem 3D-Master- und dem Vita-Classical Farbring, ohne vorherige Farbsehtests und ohne vorheriges Farbsehtraining mit der Toothguide-Trainer-Software bzw. der Toothguide-Training-Box. Sie übten die Zahnfarbbestimmung mit Hilfe von Vorlagezähnen. Die Ergebnisse wurden nun mit denen der Studiengruppe verglichen, die sowohl die Übungseinheit Toothguide-Trainer-Software und Toothguide-Trainer-Box durchlief.

Untersucht wurde erstens der Abstand 3D gesamt zur tatsächlichen Zahnfarbe; zweitens der Abstand zur tatsächlichen Zahnfarbe bezogen auf die Helligkeit, 3D Light; drittens die Anzahl der absoluten Treffer bezogen auf den Zahn und die Zahnfarbe und viertens ob der 3D-Master Farbring oder die Vita-Classical-Farbskala bei der Zahnfarbbestimmung bessere Ergebnisse erzielt.

1.) Abstand 3D gesamt zur tatsächlichen Zahnfarbe

Der Abstand 3D gesamt zur tatsächlichen Zahnfarbe bedeutet: inwieweit hat sich der Proband bei der Bestimmung der Zahnfarben (Helligkeit, Intensität und Farbton) geirrt, und wie weit entfernt liegt er von der vorgegebenen Zahnfarbe? Die Abstände zwischen der gewählten und der tatsächlichen Zahnfarbe sind in der Studiengruppe bei 8 Zähnen geringer als in der Kontrollgruppe (Abbildung 25). Es zeigt sich, dass die Studiengruppe zweimal schlechter abschneidet als die Kontrollgruppe; zum einen bei der Zahnfarbe 5M2 (Zahn 14) und zum anderen bei der Zahnfarbe 4R1,5 (Zahn 24).

Die folgende Abbildung 25 zeigt den Abstand 3D gesamt dargestellt als relative Farbabweichung insgesamt je Farbe von der Studiengruppe und der Kontrollgruppe im Vergleich.

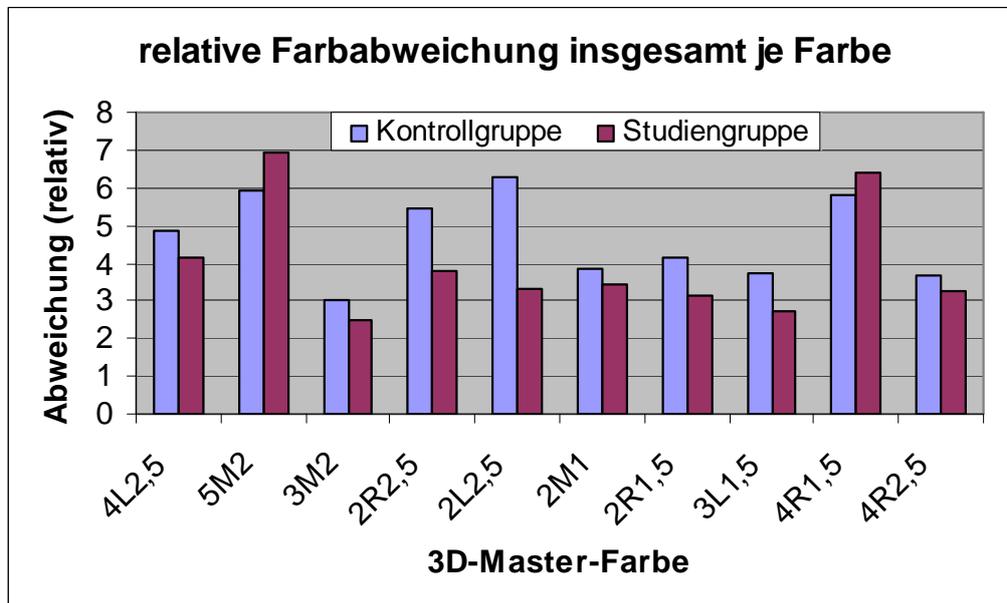


Abbildung 25: Relative Farbabweichung insgesamt je Farbe

Die Abbildung zeigt die Farbabweichungen (3D gesamt) von der Kontrollgruppe (lila) und der Studiengruppe (pink) bei der Zahnfarbbestimmung mit dem 3D-Master Farbring. Die Ordinate zeigt die relative Farbabweichung, die Abszisse die 10 3D-Master-Farben für die Zähne der Duplikatprothese, von 15 nach 25.

2.) Abstand 3D Light

Der Abstand 3D Light zeigt auf, ob der Proband anhand der Helligkeitseinteilung auf den Farbskalen sich in der Helligkeit richtig entschieden hat oder nicht. Die Auswahl der richtigen Helligkeit definiert 60% einer Zahnfarbe.

In Abbildung 26 stellt sich dar, dass die Abstände zwischen der gewählten und der tatsächlichen Helligkeit der jeweiligen Zahnfarbe in der Studiengruppe bei 9 Zähnen geringer ist als in der Kontrollgruppe. Somit schneidet die Studiengruppe nur einmal schlechter ab als die Kontrollgruppe: bei Zahn 24 mit der Zahnfarbe 4R 1,5.

Die folgende Abbildung zeigt den Abstand 3D Light dargestellt als relative Farbabweichung nur bezogen auf den Helligkeitswert (L-Wert) je Farbe von der Studiengruppe und der Kontrollgruppe im Vergleich.

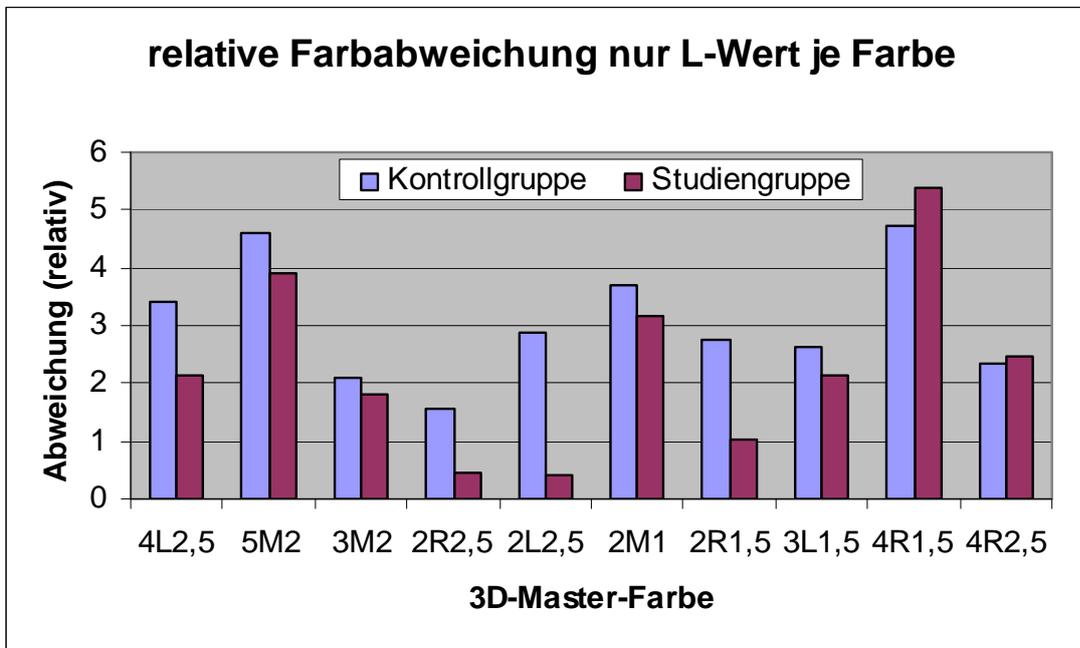


Abbildung 26: Relative Farbabweichung bezogen auf den Abstand 3D Light (L-Wert) je Farbe

Die Abbildung zeigt die Helligkeitsabweichungen (3D Light) von der Kontrollgruppe (lila) und der Studiengruppe (pink). Die Ordinate zeigt die relative Helligkeitsabweichung, die Abszisse die 10 3D-Master-Farben für die Zähne der Duplikatprothese, von 15 nach 25.

3.) Absolute Treffer

Mit Hilfe des Chi-Quadrat-Tests wurde aufgezeigt, zu wie viel Prozent es in der Studien- und Kontrollgruppe absolute Treffer bei der Wahl der richtigen Zahnfarbe gab (Abbildung 27). Der Chi-Quadrat-Test untersucht Verteilungseigenschaften einer statistischen Grundgesamtheit.

Die folgende Abbildung 27 zeigt, dass es in der Studiengruppe bezogen auf alle 10 Zähne mehr absolute Treffer gab als in der Kontrollgruppe.

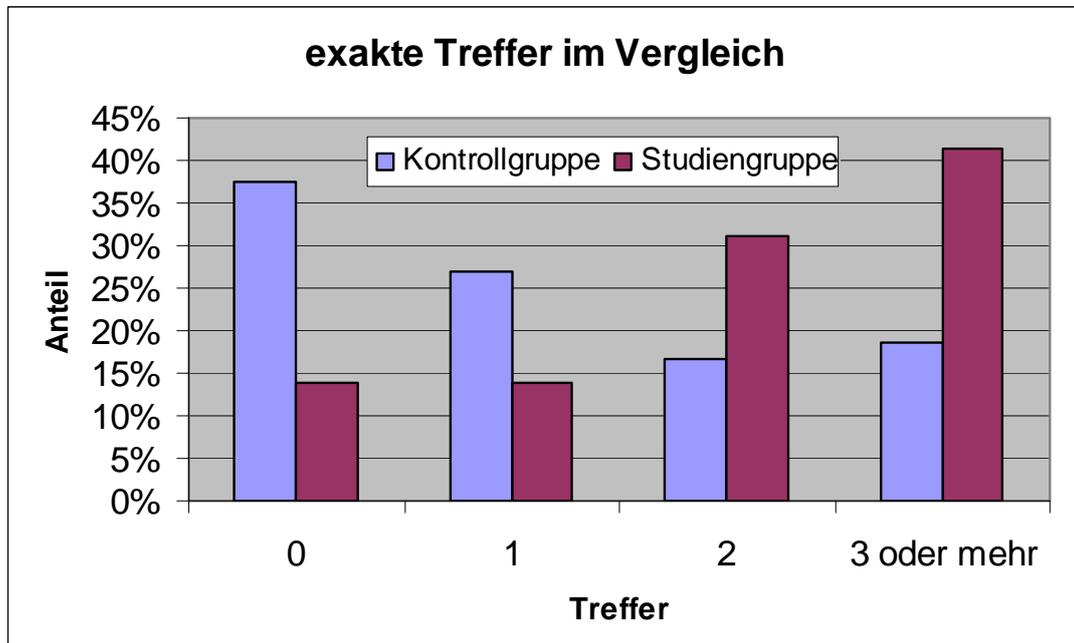


Abbildung 27: Prozentualer Anteil der exakten Treffer im Vergleich

Die Abbildung zeigt, dass es in der Kontrollgruppe zu 38% 0 Treffer, 27 % 1 Treffer, zu 17 % 2 Treffer und zu 19 % 3 oder mehr Treffer gab. In der Studiengruppe gab es hingegen zu 14 % 0 Treffer, zu 14 % 1 Treffer, zu 31% 2 Treffer und zu 41 % 3 oder mehr Treffer. Die Ordinate zeigt den Anteil in %, die Abszisse die Anzahl der Treffer.

Die Ergebnisse der absoluten Treffer bezogen auf die einzelnen Zähne sind in Tabelle 4 dargestellt. Bei 8 Zähnen schneidet die Studiengruppe besser ab als die Kontrollgruppe

Tabelle 4: Absolute Treffer bezogen auf die einzelnen Zähne. In der linken Spalte sind die Zähne der Duplikatprothese mit ihren entsprechenden Zahnfarben des 3D-Master Farbringens aufgeführt. In der mittleren Spalte die absoluten Treffer der Studiengruppe, in der rechten Spalte die der Kontrollgruppe.

Zähne der Duplikatprothese		absolute Treffer	
Zahn	Zahnfarbe	Studiengruppe	Kontrollgruppe
15	4L2,5	7	4
14	5M2	0	3
13	3M2	13	17
12	2R2,5	3	0
11	2L2,5	5	3
21	2M1	3	0
22	2R1,5	0	1
23	3L1,5	14	12
24	4R1,5	2	0
25	4R2,5	16	8

In Abbildung 28 sind die exakten Trefferquoten bezogen auf die einzelnen Zahnfarben graphisch dargestellt; die Kontrollgruppe zeigt nur bei dem Zahn 14 mit der Zahnfarbe 5M2 sowie bei Zahn 22 mit der Zahnfarbe 2R1,5 ein größere Treffsicherheit. An allen anderen Zähnen zeigt die Studiengruppe die besseren Ergebnisse.

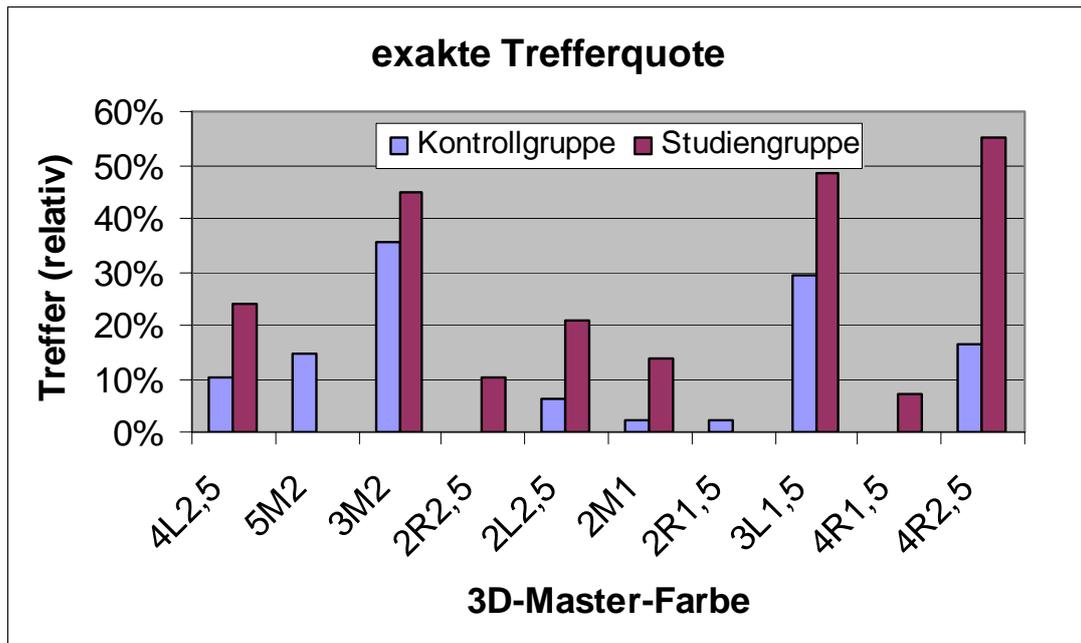


Abbildung 28: Exakte Trefferquote

Die Abbildung zeigt die exakte Trefferquote von Kontroll- und Studiengruppe. Die absoluten Treffer bei der Zahnfarbbestimmung werden in Prozent (Ordinate) angegeben. Auf der Abszisse sind die Zahnfarben der Duplikatprothese, von 15 nach 25 angegeben.

Mit dem Mann-Whitney-Test wurde jeweils der mittlere Rang ermittelt, bezogen auf die Farbfehler (3D total und 3D light). Farbfehler bei 3D total bedeutet, dass die Zahnfarbe sowohl was die Helligkeit, die Intensität und den Farbton angeht falsch ausgesucht wurde. Die Farbfehler bei 3D light beziehen sich nur auf die Auswahl der Helligkeit. Signifikante Unterschiede beider Gruppen zeigen sich bei Zahn 15, Farbfehler light mit $p < 0,017$, bei Zahn 14, Farbfehler total mit $p < 0,030$, bei Zahn 21 Farbfehler light mit $p < 0,050$.

Hochsignifikante Unterschiede zeigen sich bei den Zähnen 12, Farbfehler total mit $p < 0,004$ und Farbfehler light mit $p < 0,000$; ebenso bei 11, Farbfehler total und light mit $p < 0,000$ und zuletzt Zahn 22, Farbfehler light mit $p < 0,000$.

Tabelle Nr.5: Mittlerer Rang der Farbfehler in der Studien- und in der Kontrollgruppe

Die Tabelle zeigt jeweils den mittleren Rang der Farbfehler, die bei der Bestimmung der Zahnfarben bei der Patientin mit Duplikatprothese auftraten. Studiengruppe: Gruppe A, Kontrollgruppe: Gruppe B. Farbfehler total bedeutet, dass der Proband sich mit der Zahnfarbe (Helligkeit, Intensität, Farbton) geirrt hat, Farbfehler light sagt aus, dass sich der Proband die Helligkeit der vorgegebenen Zahnfarbe nicht richtig bestimmt hat. In der rechten Spalte steht die Signifikanz (n.s.= nicht signifikant).

	Gruppe A	Gruppe B	Gruppe A	Gruppe B	Signifikanz	
	mittlerer Rang		mittlerer Rang			
Zahn	Farbfehler total	Farbfehler total	Farbfehler light	Farbfehler light	Farbfehler total	Farbfehler light
15	36,36	40,59	31,22	43,70	n.s.	p < 0,017
14	46,02	34,76	36,84	40,30	p < 0,030	n.s.
13	36,03	34,76	35,76	40,30	n.s.	n.s.
12	29,76	44,58	27,83	45,75	p < 0,004	p < 0,000
11	26,09	46,80	25,31	47,27	p < 0,000	p < 0,000
21	36,59	40,46	35,79	40,94	n.s.	p < 0,050
22	33,38	42,40	26,38	46,63	n.s.	p < 0,000
23	34,02	42,01	34,84	41,51	n.s.	n.s.
24	43,45	36,31	41,72	37,35	n.s.	n.s.
25	33,69	42,21	33,41	42,38	n.s.	n.s.

Somit bestehen die größten Abweichungen und damit die schlechteren Ergebnisse der Kontrollgruppe bei den hellsten Zahnfarben, Zahn 12 mit der Zahnfarbe 2R2,5 und Zahn 11 mit der Zahnfarbe 2L2,5. Die Studiengruppe schneidet nur zwei Mal schlechter ab: Bei Zahn 14 mit der Zahnfarbe 5M2 bezogen auf Farbfehler Total und bei Zahn 24 mit der Zahnfarbe 4R1,5 sowohl bei Farbfehler Total als auch bei Farbfehler Light; beides Zähne mit sehr dunklen Zahnfarben.

4) Bestimmungsnähe Vita-Classical/3D-Master

Die Trefferquote bei der Bestimmung der Zahnfarben mit dem Vita-Classical-Farbring war nur geringfügig besser als mit dem 3D-Master Farbring, obwohl letzterer durch die Unterteilung in Helligkeit, Intensität und Farbton erheblich differenzierter ist.

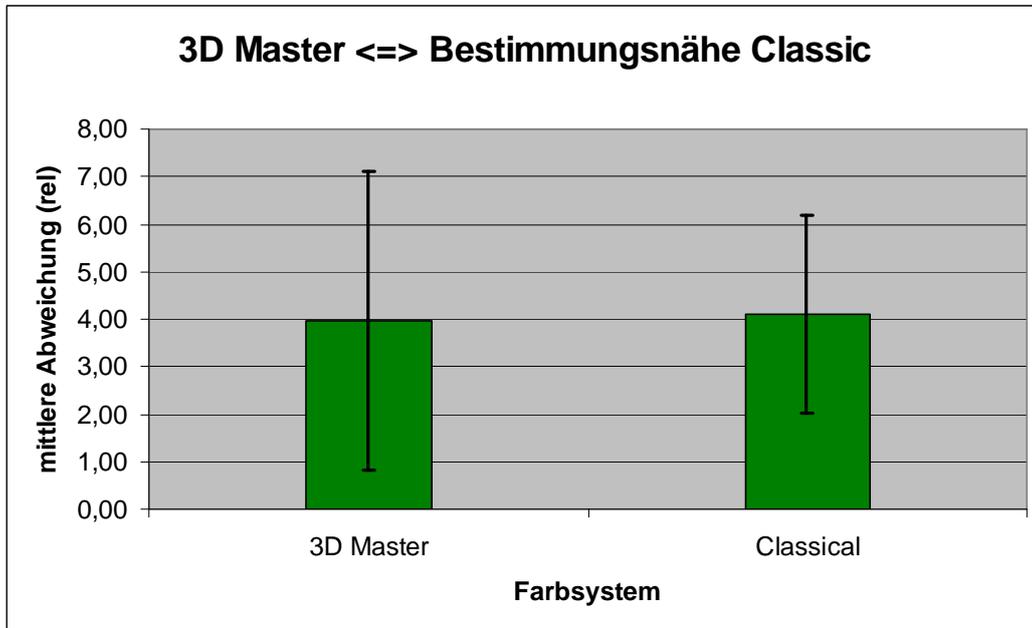


Abbildung 29: Bestimmungsnähe Vita Classical / 3D Master Farbskala.

Die Ordinate zeigt die mittlere, relative Abweichung, die Abszisse die Bestimmungsnähe der Farbskalen 3D Master und Vita Classical.

6 Diskussion

Mit dem Softwareprogramm Toothguide Trainer sollten die Probanden der Studiengruppe fünfmalig üben. Sie wurden schrittweise durch dieses Programm an eine korrekte Zahnfarbbestimmung herangeführt, da es im ersten Schritt lediglich darum geht, den richtigen Helligkeitswert aus fünf Helligkeitsgruppen zu bestimmen (einer aus fünf) und nicht einen einzelnen Farbmusterzahn (einen aus sechsundzwanzig) zu definieren. Sofern richtig ausgewählt wurde, wählt man anschließend die Farbintensität aus, im letzten Schritt den Farbton. Man kann sich nach jeder richtig getroffenen Entscheidung und damit verbuchten Erfolgserlebnis in Ruhe der nächsten Aufgabe widmen. Mit der Zeit wird jedem Anwender klar, wie komplex eine Zahnfarbbestimmung ist und auf wie viele Details letztendlich geachtet werden muss. Die Tatsache, dass sich mit jedem Treffer der Punktestand erhöht, gibt einen zusätzlichen Ansporn. Schon nach dem zweiten und dritten Mal berichteten die Studenten von großen Lerneffekten. Die Mehrheit der Studenten hatte nach dem fünften Programmdurchlauf einen weitaus höheren Punktestand als nach den vorherigen.

Bei der nachfolgenden Übungseinheit an der Toothguide-Training-Box zeigten sich durchweg hohe Punktestände bzw. gute Ergebnisse. Der Unterschied zum Softwareprogramm besteht darin, dass man nun den Zahn direkt vor Augen hat und lernt, welchen großen Einfluss das richtige Licht, in diesem Fall die Tageslichtlampe, hat.

Unter realen Bedingungen erfolgte anschließend eine Zahnfarbdifferenzierung an der Patientin, die im Oberkiefer eine Duplikatprothese trug. Denn bei der Zahnfarbbestimmung am Patienten kommen Faktoren wie Kleidung, Make-up, das richtige Licht und die Compliance von selbigen hinzu, was die Entscheidung zur richtigen Zahnfarbe erschweren kann. Die Zähne dieser Totalprothese wurden in unterschiedlichen Zahnfarben aufgestellt, da in manch einem natürlichen Gebiss die Nachbarzähne eine andere Farbe aufweisen können: durch Ablagerungen von Tee, Nikotin, Kaffee, Tee, Wurzelkanalbehandlungen oder mangelnde Mundhygiene, oder aber diese Zähne sind schon mit Zahnersatz versorgt, welcher farblich von denen der natürlichen Zähne abweicht.

Die Kontrollgruppe bestimmte hier ohne vorheriges Farbsehtraining mit der Toothguide-Trainer-Software bzw. der Toothguide-Training-Box; sie trainierte anhand von händischem Üben an Vorlagezähnen. Bei der Zahnfarbdifferenzierung an der Patientin zeigten sich innerhalb der Kontrollgruppe große Probleme hinsichtlich einer systematischen Farbbestimmung sowie Handhabung des 3D Master-Farbringes. Die Probanden benötigten weitaus mehr Zeit als die der Studiengruppe.

Die Kontrollgruppe zeigte hoch signifikant ($p < 0,01$) schlechtere Ergebnisse bezogen auf den Abstand 3D-gesamt (Helligkeit, Intensität und Farbton) zur tatsächlichen Zahnfarbe und bezogen auf den Abstand 3D-Light (nur Helligkeit). Beim Abstand 3D-gesamt zur tatsächlichen Zahnfarbe zeigte die Kontrollgruppe an zwei Zähnen zweimal geringfügig bessere Ergebnisse; Zahn 14 mit der Zahnfarbe 5M2 und Zahn 24 mit der Zahnfarbe 4R1,5. Bei beiden Zähnen handelt es sich um dunkle Zahnfarben. An allen acht anderen Zähnen zeigte die Studiengruppe weitaus geringere Farbabweichungen. In der Kontrollgruppe existierten die größten Abweichungen bei den hellsten Zahnfarben. Hier waren die besseren Ergebnisse in der Studiengruppe zu verzeichnen; Zahn 12 mit der Zahnfarbe 2R2,5 und Zahn 11 mit der Zahnfarbe 2M1. Es handelt sich hier um Zähne mit hellen Zahnfarben. Die Bestimmung von helleren Zahnfarben wurde von den Probanden als schwieriger empfunden, da die Farbintensität und der Farbton nicht so deutlich zu unterscheiden sind wie bei den dunklen Zahnfarben.

Beim Abstand 3D-Light (nur Helligkeit) schneidet die Studiengruppe nur einmal schlechter ab, bei Zahn 24 mit der Zahnfarbe 4R1,5 (siehe Abb. 26).

Somit existieren die Fehler in der Farbbestimmung in der Studiengruppe bei Zähnen mit dunklen Zahnfarben. Auffällig an diesen Ergebnissen ist die Tatsache, dass sich die Studiengruppe in einem engeren Feld bei der Bestimmung der Zahnfarbe befindet als die Kontrollgruppe. Wenn auch nicht die exakte Zahnfarbe getroffen wurde, so sind die Abstände der Studiengruppe zur tatsächlichen Zahnfarbe geringer als die derjenigen in der Kontrollgruppe.

Diese Ergebnisse widerlegen die Nullhypothese und zeigen, dass das vorherige Üben, sowohl mit dem Softwareprogramm, als auch mit der Toothguide-Training-Box, zu besseren Ergebnissen bei der Zahnfarbbestimmung führt. Die Probanden der Studiengruppe lernten den Aufbau einer Zahnfarbe in Helligkeit, Intensität und Farbton und damit eine systematische Zahnfarbdifferenzierung vorzunehmen.

Die Probanden der Studiengruppe zeigten bei der Farbbestimmung mit der Patientin, dass sie sich nach anfänglichen Schwierigkeiten hinsichtlich der Handhabung des 3D-Master Farbrings (Sortieren und Ausfalten der in einem Fach verankerten Zahnfarbmuster) innerhalb von kürzester Zeit auf eine Farbe festlegen konnten, ohne lange die Farbskalen mit den Zähnen im Mund zu vergleichen. Die hohe absolute Trefferzahl von 63 in der Studiengruppe bei einer Probandenanzahl von 29 (im Vergleich: 48 Treffer in der Kontrollgruppe bei einer Probandenanzahl von 48) unterstreicht nochmals den Einfluss des Übens mit der Toothguide-Trainer-Software und der Toothguide-Training-Box.

Die Ergebnisse in dieser Studie zeigen auf, dass die Trefferquote bei der Bestimmung der Zahnfarben mit dem Vitapan Classical Farbring nur unwesentlich besser war als mit dem 3D-Master Farbring. Daraus folgt, dass das Üben mit der Toothguide-Trainer-Software und der Toothguide-Training-Box nicht nur sinnvoll ist, wenn man mit der 3D-Master-Farbskala arbeitet, sondern ebenso hilfreich beim Umgang mit anderen Farbskalen ist. JUNKER-MALCHAREK et al. [33] kamen in ihrer Studie, dem Vergleich von der Vitapan Classical und Vitapan 3D-Master Farbskala zu ähnlichen Ergebnissen. Die Eingewöhnungszeiten und damit verbundene Farbbestimmungszeiten werden auch von TOUYZ et al. geschildert [65].

Die wenigen Studien mit der Frage der Erlernbarkeit der Zahnfarbdifferenzierung, die es bisher gibt kommen zu ähnlichen Ergebnissen. In einer Studie von HANNAK et al. [29] übten Studenten in einer Gruppe sowohl mit der Toothguide-Trainer-Software als auch mit der Toothguide-Training-Box, in der Kontrollgruppe nur visuell mit dem 3D-Master Toothguide. Die Kontrollgruppe zeigte auch hier signifikant schlechtere Ergebnisse ($p < 0,01$) [29].

Ebenso gute Ergebnisse wie die vorliegende Untersuchung zeigte die durchgeführte Studie von K. KROSZEWSKY und H. A. JAKSTAT [35], in welcher die Probanden nach Durchführung des Farnsworth und Lanthony-Farbsehtests eine Farbdifferenzierung an montierten Farbproben in Form von Oberkieferinzisiven mit Hilfe des 3D-Master Toothguide durchführten. Anschließend wurden theoretische Grundlagen vermittelt. Im nachfolgenden Übungsteil trainierten die Probanden zunächst am Computer, dann an der Toothguide-Training-Box. Zum Schluss wurde noch einmal eine Farbdifferenzierung

an den montierten Farbproben, wie schon zuvor, vorgenommen. Individuell zeigte sich eine Verbesserung der Teilnehmer um 28,8%. Die Verbesserung von Ein- zu Ausgangstest lag in der Gruppenauswertung bei 33%.

Es lässt sich feststellen, dass Farbschulungsübungen immer ein zusätzliches und sinnvolles Hilfsmittel zur Zahnfarbdifferenzierung in der Zahnmedizin darstellen. Anders als das von JAKSTAT entwickelte Trainingsprogramm Toothguide-Trainer und Toothguide-Training-Box handelt es sich bei dem Softwareprogramm *color training exercises* von PARAVINA um reine Farbschulungsübungen. Sie stellen einen lehrreichen Einstieg dar, um einen Überblick über die Farbdimensionen zu bekommen. Die durchgeführte Studie von PARAVINA zeigt, dass Probanden, die Vorlesungseinheiten über Farbwissenschaft erhielten bessere Ergebnisse bei nachfolgender Zahnfarbdifferenzierung aufwiesen, als diejenigen, die keine Farbschulung erhielten [49,50].

Wie wichtig es ist seine Farbsehtüchtigkeit zu kennen zeigen die Ergebnisse der Farbfehlsichtigen in dieser Studie. Trotz mehrmaligen Übens sowohl mit dem Toothguide-Trainer als auch mit der Toothguide-Training-Box zeigten sich bei diesen Probanden keine großen Fortschritte. Daher sollte man in Fällen von Farbfehlsichtigkeit eine zweite Meinung, z.B. die des Zahntechnikers oder die Beurteilung durch ein Messgerät, hinzuzuziehen [9,11,21,51,]. Es werden reproduzierbare Farbwerte berechnet, somit ist ein Vergleich von Farben möglich. Nicht immer stimmen jedoch die von den Zahnfarbmessgeräten ermittelten Werte mit der visuellen Farbmusterung überein [59]. Hohe Reproduzierbarkeit ist nicht gleichbedeutend mit guter Übereinstimmung [23].

Zum jetzigen Zeitpunkt wird untersucht, ob längere Trainingseinheiten mit der Toothguide-Trainer-Software und der Toothguide-Training-Box den Lerneffekt noch weiter steigern können [35] und wie viel Einfluss eine Farbfehlsichtigkeit bei der Zahnfarbdifferenzierung hat.

7 Schlussfolgerung

Es ist zu empfehlen, Farbschulungsübungen als festen Bestandteil in den zahnmedizinischen Lehrplan, an Universitäten sowie Berufsschulen für Zahnarzt-Helferinnen und Zahntechniker, zu integrieren. Denn die Wahrnehmung von Aussehen und Farbe, das Wissen über Stärken und Schwächen der verschiedenen Farbskalen und das Verständnis, wie ein natürlicher Zahn aufgebaut und beschaffen ist, sind essentiell für einen Zahnarzt, um eine ästhetische Zahnfürsorge anbieten zu können [12,13]. Jeder Patient, der einen neuen Zahnersatz erhält, erhofft sich ein Endergebnis, das einem natürlichen und schönen Gebiss entspricht. Die Bandbreite der Zahnfarben macht zwar nur einen geringen Teil aller Farben aus, stellt aber hinsichtlich der richtigen Abstimmung eine große Herausforderung dar. Eine Möglichkeit wäre ein theoretischer Unterricht mit begleitenden praktischen Übungen, wie z.B. dem von PARAVINA entwickelten Softwareprogramm *color training exercises* sowie ein sich anschließender Unterricht in dentaler Farbenlehre, begleitet von praktischen Übungen mit dem von JAKSTAT entwickelten Softwareprogramm Toothguide-Trainer und der Toothguide-Training-Box.

Die Ergebnisse dieser und der anderen aufgeführten Studien zeigen auf, dass durch Farbschulungsübungen und Umsetzen des Erlernten in praktischen Übungen die Farbabstimmungsergebnisse verbessert werden können, denn: Die Zahnfarbdifferenzierung ist lernbar.

8 Zusammenfassung

Ziel der durchgeführten Studie war es zu untersuchen, ob durch die Anwendung des Toothguide-Trainers und der Toothguide-Training-Box, basierend auf dem 3D-Master-Toothguide, die Zahnfarbdifferenzierung lernbar ist.

Trotz vieler Farbskalen gibt es immer wieder fehlerhafte Zahnfarbbestimmungen. Bisher gibt es in der zahnmedizinischen Ausbildung kein Trainingsprogramm welches diesen Problemen gerecht werden kann. Grundlage bildete die von JAKSTAT entwickelte Lernmöglichkeit zur Farbdifferenzierung. 77 Studenten der Zahnklinik-Süd der Charité nahmen an der Studie teil. Nach Randomisierung in eine Studien- und eine Kontrollgruppe führten beide Gruppen Farbsehtests nach Lanthony-, Farnsworth- und Ishihara durch um Farbfehlsichtigkeiten auszuschließen. Die Studiengruppe übte anschließend mit dem Softwareprogramm „Toothguide-Trainer“ und mit der „Toothguide-Training-Box“ um die Zahnfarbdifferenzierung zu erlernen. Die Kontrollgruppe durchlief diese Übungseinheit nicht, es erfolgte nur ein händisches Üben an Vorlagezähnen. Anschließend wurde sowohl von den 29 Probanden der Studien- als auch von den 48 Probanden der Kontrollgruppe die Zahnfarbbestimmung bei einer Patientin durchgeführt, die im Oberkiefer eine Totalprothese trug. Von selbiger wurde ein Duplikat angefertigt und von Zahn 15 nach Zahn 25 10 Zähne in einer definierten 3D-Master Farbe aufgestellt. Die Zahnfarbbestimmung erfolgte mit der 3D-Master- und der Vita-Classical Farbskala.

Die Ergebnisse wurden mit Hilfe des Mann-Whitney-Test und des Chi-Quadrat-Test miteinander verglichen. Es wurde untersucht, wie viele Farbnuancen die Probanden bei der Zahnfarbbestimmung von der vorgegebenen Zahnfarbe entfernt waren (Abstand 3D-gesamt zur tatsächlichen Zahnfarbe) sowie selbiger Abstand bezogen auf die Helligkeit (3D-light), die Anzahl der einhundertprozentigen Treffer und letztlich, ob der Vitapan-Classical Farbring oder der 3D-Master-Farbring bei der Bestimmung der Zahnfarben zu reproduzierbaren und damit besseren Ergebnissen führt.

Die Kontrollgruppe zeigte hoch signifikant ($p < 0,01$) schlechtere Ergebnisse bezogen auf den Abstand 3D-gesamt und bezogen auf den Abstand 3D-light. In der Studiengruppe gab es die meisten einhundertprozentigen Treffer. Die Trefferquote bei der Bestimmung der Zahnfarben mit dem Vitapan-Classical Farbring war nur unwesentlich besser als mit dem 3D-Master-Farbring.

8.1 Summary

The aim of this study was to determine, whether the Toothguide-Trainer and the Toothguide-Training-Box based on the 3D-Master-Toothguide are useful to increase the ability to discriminate tooth color differences.

Despite the application of various color discrimination scales, there are again and again problems with integrating dental prothesis because of color discrepancies. Almost none of the training programs for dentists or dental auxiliaries, offer deucational assistance or concepts that adress these problems. The first educational structures are the Toothguide-Trainer, a software that works like a computer game; the Toothguide-Training-Box, a hardware, matching to the software program, developed by H.A.JAKSTAT.

77 students from the Dental Clinic South of the Charité participated in the study. After randomisation, the students were divided into a study and a control group. The Lanthony, Farnsworth and Ishihara test were used to exclude color defect subjects. The study group used the Toothguide-Trainer and the Toothguide-Training-Box to practice color discrimination, the control group underwent practical training using sample teeth. Then the study and the control group performed an examination with a female patient who was fitted with a duplicate maxillary prothesis, in which teeth 15 to 25 were replaced with defined 3D-Master teeth. Both groups determined the color of the teeth in the patient mouth with the aid of the 3D-Master and the Vitapan-Classical colour scales of the Vita Dental Company.

The study group compromised 29 and the control group 48 subjects. A comparison of 1) the difference between total 3D (lightness, intensity, color) and the actual tooth color and 2) the difference between the actual tooth color compared with the lightness as well as 3) the number of absolute accurate identifications of the tooth color yielded the following results:

For 1) and 2): The Mann-Whitney-Test revealed a highly significant difference between the two groups, $p < 0,001$. For 3): There were 63 absolute accurate identifications in the study group and 48 in the control group. The accuracy rate for determine the tooth colour with the Vitapan-Classical-System was only slightly higher than with the 3D-Master-System.

9 Literaturverzeichnis

[1] Baltzer A, Kaufmann-Jinoian V: Die Bestimmung der Zahnfarben. Quintessenz Zahntechnik 2004; 30(7): 726-740.

[2] Baltzer A, Kaufmann-Jinoian V: Die digitale Farbmessung der Zähne. Quintessenz Zahntechnik 2004; 30(8): 834-858.

[3] Bergen SF: Color education for the dental profession (Master´s thesis). University New York, College of Dentistry, New York, 1995.

[4] Bücking W: Die dentale Trickkiste. Quintessenz 2006; 57(7): 733-754.

[5] Bücking W: Die fehlerfreie Zahnfarbenbestimmung – eine Herausforderung für Zahnarzt und Zahntechniker. Quintessenz 2006; 53(11): 1199 – 1207.

[6] Bunting F: The color shop color primer.
(Online im Internet am 22.10.07:
URL: <http://www.xrite.com/documents/mktg/Color Primer.pdf>.)

[7] Carsten DL: Successful shade matching: what does it take? Compend Contin Educ Dent 2003; 24: 175.

[8] Christner J: Nerven, Sinne, Hormone. Ernst Klett, 11.Aufl., Stuttgart / Düsseldorf/ Leipzig, 2002.

[9] Chu S, Tarnow D: Digital shade analysis and verification: A case report and Discussion. Pract Proced Aestet Dent 2002; 13(2): 129-136.

[10] Chu SJ ,Color In: Gürel G (ed): The Science and Art of Porcelain Laminate Veneers. Quintessence, Chicago, 2003.

[11] Chu SJ, Devigus A, Mielezsko AJ: Dentale Farbenlehre. Quintessenz, Berlin, 2005.

- [12] Chu SJ: The Science of color and shade selection in esthetic dentistry. Dent Today 2002; 9: 86-89.
- [13] Chu SJ: Precision shade technology: Contemporary strategies in shade Selection. Pract Proced Aesthet Dent 2002; 14: 79-83.
- [14] Clark EB: The color problem in dentistry. Dent Digest 1931; 37 : 581.
- [15] Commission Internationale de l'Éclairage Colorimetry, Official Recommendations of the International Commission on Illumination [Publication CIE No.15 (E 1.3.1.)] Paris: Bureau Central de la CIE, 1971.
- [16] Davison SP, Myslinski NR: Shade selection by color vision-defective dental personell. J Proshet Dent 1990; 63: 97-101.
- [17] Der Ishihara-Test
(Online in Internet am 1.11.07: URL:
[http://www.fiene.de/cms/index.php?option=com_content&task=view&id=13&Itemid=28.](http://www.fiene.de/cms/index.php?option=com_content&task=view&id=13&Itemid=28))
- [18] Devigus A: Die digitale Farbmessung in der Zahnmedizin. Quintessenz 2003; 54(5): 495-500.
- [19] Die Komplementärfarben
(Online im Internet am 1.11.07: URL:
http://images.google.de/imgres?imgurl=http://lefi.physik.unimuenchen.de/web_ph07_g8/umwelt_technik/03farbkreis.htm&h=269&w=268&sz=5&hl=de&start=6&tbnid=9F76Q2HFvUxM:&tbnh=113&tbnw=113&prev=/images%3Fq%3Dkomplement%25C3%25A4farben%26gbv%3D2%26svnum%3D10%26hl%3Dde%26sa%3DG)
- [20] Duden: Nervensystem und Sinnesorgane. 2.Aufl., Bibliographisches Institut, Mannheim, 2000.

-
- [21] Faber FJ, Schlegel G: Visuelle und messtechnische Zuordnung der Zahnfarbe. Deutsch. Zahnärztliche Z 1995; 50: 661-664.
- [22] Faber FJ: Die Bestimmung der Zahnfarbe. Deutsch. Zahnärztliche Z 2002; 57: 448.
- [23] Faber FJ: Einfluss der Transparenz auf messtechnische Bewertung der Farbe in der Zahnmedizin. Zahnmed. Diss., Universität zu Köln 1998.
- [24] Fraunfelder FT, Fraunfelder FW: Drug-induced ocular side effects, ed 5. Burlington, Mass., Butterworth-Heinemann Medical 2001.
- [25] Freesmeyer WB: Klinische Prothetik, Band 2: Herausnehmbarer Zahnersatz und Gewebeersatz (Epithetik). Hüthig GmbH, Heidelberg, 1999.
- [26] Gnan C: Color theory for the dentist and dental technician. Quintessenz Dent Techn 1996; 19: 71.
- [27] Goodkind RJ, Loupe MJ: Teaching of color in predoctoral and postdoctoral dental education in 1988. J Prosthet Dent 1992; 67: 713.
- [28] Grehn Franz: Augenheilkunde. 29.Aufl., Springer, Berlin, 2005.
- [29] Hannak WB, Hugger A, Hugger S, Jakstat HA: First experiences with a new training program for color differentiation. Vortrag auf IADR 2004, Honolulu/Hawaii.
- [30] Harten HU: Physik für Mediziner. 9.Aufl., Springer, Berlin/ Heidelberg/ New York, 1999.
- [31] Hubel DH: Auge und Gehirn, Neurobiologie des Sehens. Spektrum, Heidelberg 1999.
- [32] Ivoclar Vivadent GmbH Produktinformationen 2007.

-
- [33] Junker-Malcharek A, Krozewsky K: Farbbestimmung mit der Vitapan Classical und Vitapan 3D-Master Farbskala im Vergleich. Dtsch Zahnärztl Z 2002; 57: 562-565
Tagungsbeitrag.
- [34] Klink R, Silbernagl S: Lehrbuch der Physiologie. 2.Aufl., Georg Thieme, Stuttgart/New York, 1996/2000.
- [35] Kroszewsky H, Jakstat HA: Erlernbarkeit der Zahnfarbdifferenzierung. Dtsch Zahnärztl Z 2004; 59(10): 593-595.
- [36] Krueger-Janson U: Analyse der Farb- und Strukturmerkmale eines Zahnes. Teamwork, Journal of Multidisciplinary Collaboration in Restorative Dentistry 2006; 9: 212-223.
- [37] Küppers H: Das Grundgesetz der Farbenlehre. 3.Aufl., Du Mont, Köln, 1983.
- [38] Küppers H: Harmonielehre der Farben. 2.Aufl., Du Mont, Köln, 1999.
- [39] Küppers H: Schnellkurs Farbenlehre. Du Mont, Köln, 2005.
- [40] Miller L: Organizing in color dentistry. J Am Dent Assoc 1987; 12 (special issue): 26 E - 40E.
- [41] Miller LL: A Scientific Approach to Shade Matching. In: Preston JD. Perspectives in Dental Ceramics. Proceedings of the Fourth International Symposium on Ceramics. Chicago: Quintessence 1988: 193-208.
- [42] Miller LL: Shade Matching. J Eshet Dent 1993; 5(4): 143-153.
- [43] Miller LL: Shade Selection, J Eshet Dent 1994; 6(2): 47-60.
- [44] Moser JB, et al: Color vision in dentistry: a survey. J Am Dent Assoc 1985; 110: 509-510.

-
- [45] Munsell AH: A Grammar of Color. Van Nostrand Reinhold Co., New York, 1969.
- [46] Nachrichten der Universität Bern
(Online im Internet am 27.11.07:URL:
<http://www.kommunikation.unibe.ch/publikationen/uniklinik/uniklinik200606.pdf>)
- [47] O' Keefe KL, Strickler ER, Kerrin HK: Color and shade matching: the weak link in esthetic dentistry. Compendium 1990; 11: 116.
- [48] Ostwald W: Die Farbenfibel. Unesma, Leipzig, 1921.
- [49] Paravina RD, Powers JM: Esthetic color training in dentistry. Elsevier LTD, Oxford, 2004.
- [50] Paravina RD: Techniques for improvement of clinical shade matching procedures (Ph.D. dissertation). University of Nis School of Medicine, Nis, Serbia, 2000.
- [51] Paul SJ, Kern M: Digitale Farbestimmung. Quintessenz Zahntechnik 2004; 30(6): 610-618.
- [52] Physikalische Farbtheorie und moderne Farbmetrik [pdf]
(Online im Internet am 28.11.07:URL:
<http://home.arcor.de/oldschulte/ftheorie.pdf>)
- [53] Preston JD, Bergen SF: Color Science and Dental Art: A self teaching Program. CV Mosby Co, St. Louis, 1980.
- [54] Proskauer HO: Zum Studium von Goethes Farbenlehre. 4.Aufl., Zbinden, Zürich, 2003.
- [55] Quackenbush TR: Relearning to see. North Atlantic Books, Berkley, Calif, 2000.

[56] Rauter H: CD-ROM VITA Zahnfabrik GmbH & Co KG, Bad Säckingen.

[57] RGB-Dreieck von Maxwell

(Online im Internet am 26.11.07: URL:

http://64.233.179.104/translate_c?hl=de&u=http://www.handprint.com/HP/WCL/color6.html&prev=/search%3Fq%3Dwww.handprint.com%26hl%3Dde%26rlz%3D11G____DEDE248color6.html)

[58] Rosenthal O, Phillips R: Coping with color blindness. Avery Penguin Putam, New York, 1997.

[59] Ross F: Untersuchung zur Reproduzierbarkeit der Zahnfarbbestimmung mit einem neuen Zahnfarbringsystem. Zahnmed. Diss., MHH Hannover 2002.

[60] Runge PO: Farben-Kugel. Verlag Friedrich Perthes, Hamburg, 1810
Faksimile Ausgabe Nr. 094, Mäander Kunstverlag ,Mittenwald, 1977.

[61] Schmidt RF, Lang F, Thews G: Physiologie des Menschen mit Pathophysiologie. 28.Aufl., Springer, Berlin, 2005.

[62] Sproull RC: Color matching in dentistry, Part 1: three-dimensional nature of color. J Prosthet Dent 1973; 29: 416.

[63] Stellungnahme der DGZMK: Die Bestimmung der Zahnfarbe, Köln, 2004.

[64] Subtraktive Farbmischung

(Online im Internet am 27.11.07: URL:

<http://www.metacolor.de/additiv-substraktiv.htm>)

[65] Teuz, L.Z.G., Raviv, Harel-Raviv, M.: Cosmetic or esthetic dentistry. Quintessenz Int 1999; 30(4): 227-233.

[66] v Goethes Farbenkreis

(Online im Internet am 2.11.07: URL:

http://www.anthroposopie.net/goetheanismus/goetheanismus_farbenlehre.htm)

[67] v Goethe JW, Richter K, Schmidt P: Johann Wolfgang von Goethe- Sämtliche Werke nach Epochen seines Schaffens. Zur Farbenlehre Bd.10. Hanser, München, 2002.

[68] v Goethe JW: Die Tafeln der Farbenlehre und deren Erklärungen. 1.Aufl., Insel, Frankfurt, 1994.

[69] VITA Zahnfabrik Produktinformationen, VITA, Bad Säckingen.

[70] Vollman M: Vitapan 3D-Master – Theorie und Praxis. Dental Lab 1998; 96: 1247.

[71] Wasson W, Schuhmann N: Color vision in dentistry. Quintessence Int 1992; 23(5): 349-353.

10 Anhang

DANKSAGUNG

Zum Abschluss meiner Arbeit möchte ich mich ganz besonders bei Herrn Prof. Dr. W.B. Freesmeyer bedanken, der mir das Thema der vorliegenden Arbeit zur Verfügung gestellt hat.

Mein Dank gilt ebenso Herrn Oberarzt Dr. W. Hannak. Er hat mir viel Geduld und Vertrauen entgegengebracht und mich mit seinen Ideen und seiner Diskussionsbereitschaft stets motiviert.

Insbesondere danke ich Herrn Dr. M. Roggensack für seine Unterstützung und die Zusammenarbeit bei der statistischen Auswertung.

Bei Herrn Prof. Dr. H.A. Jakstat möchte ich mich für seine richtungsweisende Hilfe und stete Kooperation bedanken.

Außerdem danke ich Herrn W. Gomolla von der Firma VITA. Er war eine große Hilfe für mich was die Organisation und Durchführung des praktischen Teils dieser Arbeit angeht.

Vielen herzlichen Dank an meine Freunde Dr. M. Marschall, Dr. M. Moennig und A. Glettner für die Hilfsbereitschaft und Gestaltung der vorliegenden Arbeit.

Ein ganz besonderer Dank gilt meinen lieben Eltern, die mich in meinem ganzen Leben immer unterstützt haben; ohne ihre Hilfe wäre sehr viel nicht möglich gewesen.

Von ganzem Herzen danke ich meinem Mann Harald für sein Verständnis während der Fertigstellung dieser Arbeit und für seine Liebe und Unterstützung.

Lebenslauf

Aus Gründen des Datenschutzes wird der Lebenslauf nicht elektronisch veröffentlicht!

EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG

„Hiermit erkläre ich, Petra Wünnemann, an Eides statt, dass die vorliegende Dissertation von mir selbst und ohne Hilfe Dritter verfasst wurde. Die benutzten Hilfsmittel sowie die Literatur sind vollständig angegeben; auch in Teilen sind keine Kopien anderer Arbeiten dargestellt worden.

Datum

Petra Wünnemann