

---

Aus der Universitätsklinik und Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik  
des Universitätsklinikums Halle (Saale)  
(Direktor: Prof. Dr. med. dent. habil. Jürgen M. Setz)

# Der Einfluss einer künstlichen Lichtquelle auf die Qualität der dentalen Farbbestimmung

## **Dissertation**

Zur Erlangung des akademischen Grades  
Doktor der Zahnmedizin (Dr. med. dent.)

vorgelegt  
der Medizinischen Fakultät  
der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

von Vasiliki Tsita  
geboren am 20. April 1985 in Giannitsa, Griechenland

Betreuer: PD Dr. med. dent. habil. Arne F. Boeckler

Gutachter:

1. PD Dr. med. dent. habil. Arne F. Boeckler
2. PD Dr. med. dent. habil. Christian R. Gernhardt
3. Prof. Dr. med. dent. Manfred Wichmann (Erlangen)

eingereicht am: 06.11.2012

verteidigt am: 04.04.2013

---

Αφιερωμένο στην αδερφή μου, Χριστίνα  
Εις ένδειξη ευγνωμοσύνης

Καλόν γάρ δήπου τεκμήριον τοῦτο τῶν ἐπισταμένων  
ὅτιοῦν ὅτι ἐπίστανται, ἐπειδάν καί ἄλλον  
οἴοι τ' ὥσιν ἀποδείξαι ἐπιστάμενον  
Πλάτων

Das beste, was man erhoffen kann zu vollbringen,  
ist, den anderen an etwas zu erinnern,  
was er bereits weiß  
Platon

Dafür danke ich dir  
Meiner Schwester Christina gewidmet

---

## Referat

Die konventionelle Zahnfarbbestimmung wird von vielfältigen Faktoren, wie Beleuchtung, Kleidung sowie Hintergrund beeinflusst. Zur Optimierung und Standardisierung dieser Messungen werden daher spezielle Tageslichtquellen angeboten. Ziel dieser Studie war die Überprüfung des möglichen Einflusses einer künstlichen Lichtquelle auf die konventionelle dentale Farbbestimmung.

Auf vier Oberkiefermodellen (# 6230401, KaVo, Bieberach / Riß, D) wurden acht Kronen auf den präparierten Zähnen 11 und 21 aus Keramik- (IPS e.max Press HT, Ivoclar Vivadent, Schaan, FL), Kunststoff- (SR Adoro, Ivoclar Vivadent), Metall- mit Kunststoff- und Metallkronen mit Keramikverblendung nach Herstellerangaben gefertigt und zementiert (Panavia F2.0, Kuraray, Tokio, J;). Für jede Kronenmaterialgruppe wurden die Verblendungen in den Reinfarben A4 und B2 ausgewählt. Mit einem digitalen Farbmessgerät (Vita Easy-Shade, Vita, Bad Säckingen, D) erfolgte die finale Bestimmung eines mittleren Farbreferenzwertes jeder Krone (n=20; Vita Classical).

Anschließend führten Probanden (28 Frauen / 28 Männer) aus 4 unterschiedlichen Gruppen (Zahnärzte, Zahntechniker, Zahnarzthelfer und Studenten, je n=14) unter standardisierten Bedingungen konventionelle Farbbestimmungen an diesen Kronen durch. Zuvor wurden die Probanden auf Farbsehtüchtigkeit (Ishihara-Farbtafeln) geprüft und in die Funktionsweise der Farbskalen eingewiesen. Farbfehlsichtige wurden im Vorfeld ausgeschlossen.

Die Messungen mit den Vita Classical und den Vitapan 3D-Master Farbskalen (Vita) erfolgten zeitversetzt mit und ohne künstliche Lichtquelle (Optilume Trueshade LTD, Optident, Iikley, GB; Normlichtart D65, Farbtemperatur 5500Kelvin, Beleuchtungsstärke 1000-2000Lux). Wurde die Zahnfarbe einer Krone durch den Probanden richtig bestimmt, wurde die Messung positiv bewertet. Die Ergebnisse wurden deskriptiv ausgewertet und die Messwertunterschiede auf mögliche Signifikanzen untersucht (Chi-Quadrat-Test,  $p < 0,05$ ).

Bei den Farbbestimmungen ohne Lichtquelle bestimmten 48,9% aller Probanden die Farben korrekt. Bei den Farbbestimmungen mit Tageslichtquelle fanden 57,3% aller Probanden die jeweils richtigen Zahnfarben ( $p < 0,01$ ). Die geschlechtsspezifischen Unterschiede waren nicht signifikant ( $p > 0,05$ ). Sowohl bei der Classical- als auch bei der 3D-Master-Skala kam es durch den Einsatz der Tageslichtquelle zu signifikanten Verbesserungen ( $p < 0,01/p > 0,05$ ) der Bestimmungsgenauigkeit. Ohne Tageslichtquelle bestimmten 39,7% der Zahntechniker, 47,3% der Studenten und 41,1% der Zahnarzthelferinnen die Zahnfarben korrekt. Die Zahnärzte zeigten mit 66,5% die höchste, ohne zusätzliche Tageslichtquelle erzielte Bestimmungsgenauigkeit. Durch den Einsatz der Lichtquelle stiegen die Prozentsätze signifikant auf jeweils 52,2%/60,7%/48,7%. Bei den Zahnärzten war die Verbesserung der Qualität durch den Einsatz der Lichtquelle auf 68,3% nicht signifikant ( $p > 0,05$ ).

Die visuelle Bestimmung der Zahnfarbe mittels vorgefertigter Farbskalen wird von verschiedenen Umgebungsparametern beeinflusst. Zur Standardisierung der Lichtverhältnisse stehen künstliche Lichtquellen zur Verfügung. In der vorliegenden Studie führte der Einsatz einer solchen Lichtquelle zu einer Qualitätsverbesserung der konventionellen Zahnfarbbestimmung.

Tsita, Vasiliki: Der Einfluss einer künstlichen Lichtquelle auf die Qualität der dentalen Farbbestimmung Halle (Saale), Univ., Med. Fak., Diss, 71 Seiten, 2012

## Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	I
1 Einleitung und Literaturüberblick	1
1.1 Farbwahrnehmung	1
1.2 Aufbau natürlicher Zähne	4
1.3 Kronen als Restauraionsform	5
1.3.1 Metallkronen mit Kunststoffverblendung	5
1.3.2 Metallkronen mit Keramikverblendung	6
1.3.3 Kunststoffkronen	7
1.3.4 Keramikronen	7
1.4 Einflussfaktoren auf die dentale Farbauswahl	9
1.4.1 Zeitpunkt	9
1.4.2 Lichtqualität	9
1.4.3 Lichtsysteme bei der dentalen Farbbestimmung	10
1.4.4 Abstand	11
1.4.5 Dauer	11
1.4.6 Umfeld	12
1.4.7 Die eine Farbbestimmung durchführende Person	12
1.4.8 verschiedene Hilfsmittel	13
1.5 Methodik der dentalen Farbbestimmung	14
1.6 Visuelle Farbbestimmung in der Zahnheilkunde	15
1.6.1 Farbringsysteme	15
1.6.2 Vitapan Classical	17
1.6.3 Vitapan 3D Master	18
1.7 Instrumentelle Farbbestimmung in der Zahnheilkunde	19
1.7.1 Technische Grundlagen	20
2 Ziel	23
3 Material und Methoden	24
3.1 Herstellung der Kronen	24
3.2 Bestimmung des Kronenreferenzfarbwertes	26
3.3 Probandenauswahl	29
3.4 Getestete LED-Lichtquelle	31
3.5 Zahnfarbbestimmung	33
3.6 Statistische Auswertung der Ergebnisse	35

4	Untersuchungsergebnisse	36
4.1	Ergebnisse aller Probanden	36
4.2	Ergebnisse in Abhängigkeit vom Geschlecht der Probanden	38
4.3	Ergebnisse in Abhängigkeit vom Alter der Probanden	41
4.4	Ergebnisse in Abhängigkeit von der Berufsgruppe der Probanden	44
4.5	Ergebnisse in Abhängigkeit vom Kronenmaterial	46
5	Diskussion	50
5.1	Diskussion der Methodik	50
5.1.1	Herstellung der Kronen	50
5.1.2	Bestimmung des Kronenreferenzwertes	51
5.1.3	Probandenauswahl	52
5.1.4	Handhabung der Farbringsysteme	52
5.1.5	Getestete Lichtquelle	53
5.1.6	Handhabung der künstlichen Lichtquelle	54
5.1.7	Zahnfarbenbestimmung	54
5.2	Diskussion der Ergebnisse – Vergleich mit der Literatur	56
5.2.1	Ergebnisse aller Probanden	56
5.2.2	Ergebnisse in Abhängigkeit vom Geschlecht der Probanden	56
5.2.3	Ergebnisse in Abhängigkeit vom Alter der Probanden	57
5.2.4	Ergebnisse in Abhängigkeit von der Berufsgruppe der Probanden	57
5.2.5	Ergebnisse in Abhängigkeit vom Kronenmaterial	58
6	Zusammenfassung und Schlussfolgerungen	60
7	Literaturverzeichnis	61
8	Thesen	70
	Tabellarischer Lebenslauf	
	Selbstständigkeitserklärung	
	Erklärung über frühere Promotionsversuche	
	Danksagung	

## Verzeichnis der verwendeten Abkürzungen und Symbole

°	Grad
%	Prozent
Abb.	Abbildung
Bis-GMA	Bisphenol-A-Glycidylmethacrylat
bzw.	beziehungsweise
ca.	circa (lat.)
CH	Schweiz
CIE	französisch Commission internationale de l'éclairage, deutsch Internationale Beleuchtungskommision
cm	Zentimeter
D	Bundesrepublik Deutschland
D65	Standard Tageslicht von der CIE
et al.	et alii (lat.), und andere (dt.)
FL	Finnland
IPS e.max	Vollkeramik-System (Lithium – Disilikat - Glaskeramik / Zirkoniumdioxid
J	Japan
K	Kelvin
Ke	Keramikkrone
Ku	Kunststoffkrone
L*a*b*	Farbraum
LED	englisch light-emitting diode, deutsch lichtemittierende Diode
L	Lux, Beleuchtungsstärke
lat.	lateinisch
M/Ke	Metallkrone mit Keramikverblendung
M/Ku	Metallkrone mit Kunststoffverblendung
min	Minute(n)
mm	Milimeter
n	Größe der Stichprobe
nm	Nanometer
OT	Optilume Trueshade, Optident-künstliche Lichtquelle
p	Wahrscheinlichkeitstheorie eines Ereignisses, Potenzmenge
PMMA	Polymethylmethacrylat
s	Sekunde(n)
S.	Seite

SPSS	Superior Performing Software System, Statistik- und Analyse-Software
ST	Studenten
Tab.	Tabelle
USA	englisch United States of Amerika, deutsch Vereinigte Staaten von Amerika
VC	Vita Classical Farbring
V3D	Vitapan 3D-Master Farbring
ZÄ	Zahnärzte
ZH	Zahnarthelfer
ZT	Zahntechniker

## 1 Einleitung und Literaturüberblick

### 1.1 Farbwahrnehmung

Das menschliche Auge nimmt die elektromagnetischen Strahlen im Wellenbereich von 380 bis 780nm wahr. Diese Strahlung wird als Farbe empfunden. Unterschiedliche Teile des Auges dienen als Filter. Das Licht fällt zunächst auf die Cornea, die Strahlen mit Wellenlängen unter 300nm ausfiltert. Der verbleibende Anteil des Lichtes tritt in Kammerwasser, Iris, Linse und Glaskörper ein. Wellenlänge und Zusammensetzung des Lichtes, das in unser Auge einfällt, bestimmen feinste Nuancen unserer optischen Wahrnehmung (Jordan, 1989).

Unter Farbwahrnehmung versteht man die Fähigkeit, Licht unabhängig von der Wellenlänge der verschiedenen Strahlen wahrzunehmen. Voraussetzung für die Farbwahrnehmung sind unterschiedliche Typen von Lichtrezeptoren, um die Zusammensetzung des Lichtes feststellen zu können (Lang, 1998). Der Mensch hat zwei unterschiedliche Systeme von Farbrezeptoren:

- Stäbchen sind empfindlicher, aber es gibt nur einen Typ (diese können keine Farbe unterscheiden). Sie sind für das Nachtsehen verantwortlich.

- Zapfen, aus drei Typen mit unterschiedlicher Empfindlichkeit. L-Zapfen sind für längere Wellenlänge empfindlich, das Absorptionsmaximum liegt bei 560nm was einem grünlichen Gelb entspricht. M-Zapfen für mittlere Wellenlänge, liegt etwa bei 530nm entsprechend einem Gelbgrün. S-Zapfen liegen bei 420nm entsprechend einem Blau (Burk und Burk 2010).

Um Farben zu unterscheiden, muss das Gehirn die Reizantworten von mindestens zwei unterschiedlichen Zapfentypen vergleichen. Jede Kombination von Farben erzeugt einen Reiz. Diese bestimmte Farbe kann auch als Kombination erzeugt werden.

Als Metamerie bezeichnet man den Effekt, bei dem zwei unterschiedliche Farben unter den gleichen Lichtverhältnissen beim Betrachter denselben Farbeindruck hinterlassen (Corcodel et al. 2010a). Bei veränderten Lichtverhältnissen hingegen können sich die beiden Restaurationen farblich unterscheiden. Bei der Erstellung einer Restauration kann es das Phänomen der Metamerie dem Betrachter somit erschweren, eine vorhandene Zahnfarbe zu reproduzieren (Strub, 1994).

Ursachen für Farbschwächen sind Funktionsdefekte eines oder mehrerer Rezeptoren (Gordon, 1998). Bei angeborenen Farbsinnstörungen handelt es sich um eine

Eigenschaft, die oft verborgen bleiben, da der Betroffene sie für normal hält. Sie betrifft ungefähr 8% der Männer und weniger als 0,5% der Frauen (van der Burgt et al. 1990). Man unterscheidet Farbfehlsichtigkeit (anomale Trichromasie oder Dichromasie) von der Farbenblindheit (Achromasie).

-anomale Trichromasie: der Betroffene erlebt sehr viele Farben, aber eine der drei Komponenten ist minderwertig. Man unterscheidet Protanomalie (Rotschwäche), Deuteranomalie (Grüneschwäche) und Tritanomalie (Blaueschwäche).

-Dichromasie: es sind nur zwei Arten von Zapfen aktiv, man unterscheidet Protanopsie (Rotblindheit), Deuteranopsie (Grünblindheit) und Tritanopsie (Blaublindheit).

-Achromasie: die Betroffenen können nur Graustufen unterscheiden und leiden zusätzlich unter mangelnder Sehschärfe und Überempfindlichkeit gegen helles Licht (Lang, 2008).

Die Feststellung der Farbfehlsichtigkeit wird mittels eines Farbsehtests durchgeführt (Broschmann und Kuchenbecker 2011). Ein einfaches und schnelles Verfahren bieten die pseudoisochromatischen Ishihara-Farbtafeln (Haskett und Hovis 1987) (Abb.1).

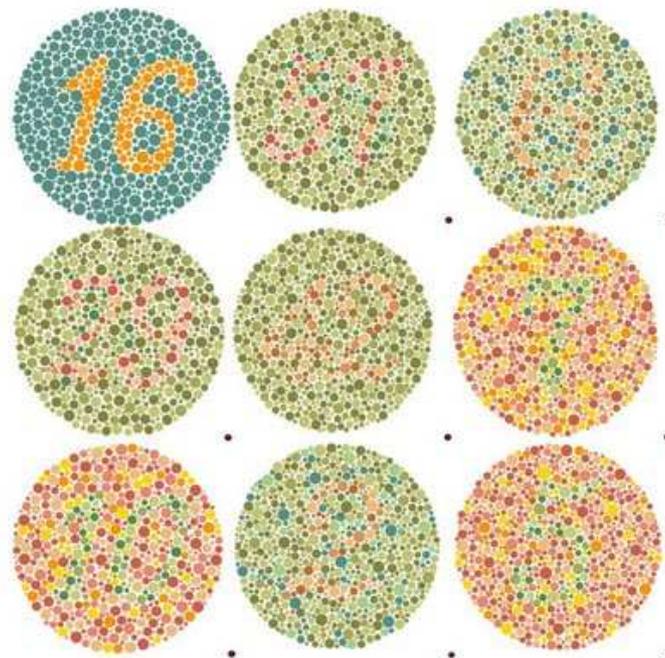
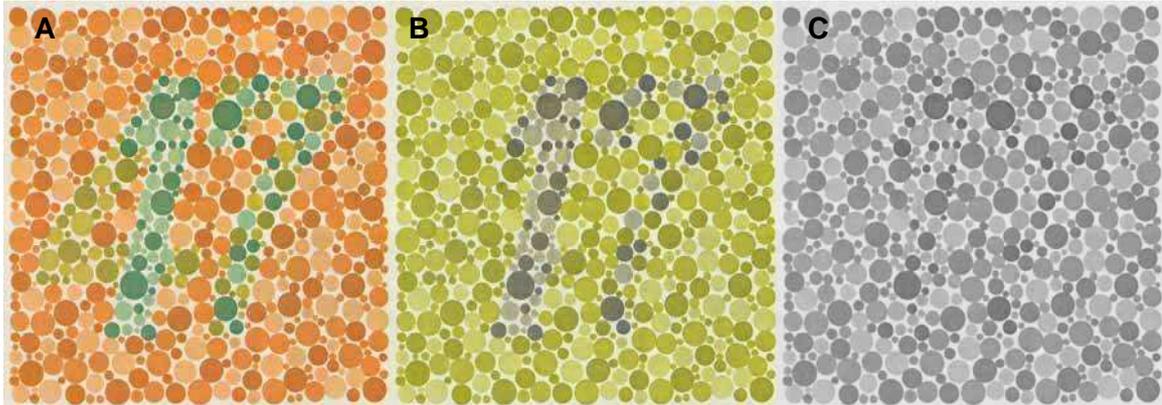


Abbildung 1: Ishihara-Farbtafeln  
(Quelle: <http://de.wikipedia.org>)

Innerhalb von Farbkreisen müssen Zahlen (andersfarbig) erkannt werden. Werden keine oder falsche Zahlen gelesen, könnte dies ein Zeichen einer Farbfehlsichtigkeit sein. Abbildung 2 zeigt eine Farbtafel, wie sie sich einem A: Normalsichtigen, B: Rot-Grün Sehschwachen und C: Farbfehlsichtigen zeigt.



A: Normalsichtige,                      B: Rot-Grün Sehschwäche,    C: Farbfehlsichtige

Abbildung 2: Ishihara-Tafeln

(Quelle: <http://de.wikipedia.org>)

## 1.2 Aufbau natürlicher Zähne

Die Farbe natürlicher Zähne wird von mehreren Faktoren beeinflusst. Verschiedene Faktoren wie Dicke, Zusammensetzung und Struktur der Hartgewebe verändern sich im Laufe des Lebens und beeinflussen somit die Zahnfarbe (Touati et al. 2001).

Der Zahn besteht hauptsächlich aus drei unterschiedlichen Geweben:

- 1) Die Pulpa ist aus Bindegewebe mit Blut- und Lymphgefäßen sowie Nervenfasern aufgebaut. Sie füllt den inneren Teil des Zahnes, die Pulpenhöhle aus, die von den Zahnhartsubstanzen umhüllt wird. Im Laufe der Jahre bildet die Pulpa immer mehr Dentin um sich herum und wird dadurch kleiner. Dies hat auch einen Einfluss auf die Zahnfarbe. Bei Jugendlichen kann es zu einem pinkfarbenen Aussehen kommen. Im Laufe der Zeit verändert sie sich auf den Farbton des Zahnes (Hellwig et al. 1995).
- 2) Das Dentin ist aus anorganischen Bestandteilen (70% Hydroxylapatit), organischen Substanzen (20%) und Wasser (10%) aufgebaut. Die Farbe ist gelblich. Das Dentin umschließt das Pulpencavum mit der Zahnpulpa. Die dentinbildenden Zellen werden Odontoblasten genannt. Die Odontoblastenkörper liegen in der Pulpa und stehen mit freien Nervenendigungen in Kontakt. Je nach Zeitpunkt der Bildung unterscheidet man drei Arten von Dentin. Während der Zahnbildung produziertes Dentin wird als „primäres Dentin“ bezeichnet. Strukturell gleich ist das „Sekundärdentin“. Dieses wird lebenslang gebildet undengt so im Laufe der Jahre die Pulpenhöhle ein. Dadurch wird die Sensibilität der Zähne im Alter reduziert (Dozic et al. 2010a). Histologisch davon zu unterscheiden ist „Tertiärdentin“, auch Reizdentin genannt. Es entwickelt sich nicht gleichmäßig im gesamten Bereich der Odontoblasten, sondern wird aufgrund eines externen Reizes zum Schutz der Pulpa gebildet .
- 3) Der Schmelz ist die äußere und härteste Schicht des natürlichen Zahnes (Kim et al. 2008). Er besteht zu 95% aus Mineralien und zu 5% aus Wasser und organischen Substanzen. Das Strukturgefüge entsteht während der Amelogenese und besteht aus einer Anordnung von Schmelzprismen, Prismenscheiden und zwischenprismatischen Zonen (Ludwig K 2005). Das verleiht diesem Gewebe Sprödigkeit, Transluzenz und Röntgenopazität (Luo und Zhang 2010).

Hinsichtlich der Farbe spielt der Schmelz eine wichtige Rolle, die von der Topographie des Schmelzes abhängig ist:

- 1) Im inzisalen Drittel: Bei Jugendlichen besteht sie oftmals nur aus Schmelz, deswegen hat diese Region eine hohe Transluzenz.
- 2) Im mittleren Drittel: Der Schmelz wird weniger transluzent.
- 3) Im zervikalen Drittel: Der Schmelz wird sehr dünn, deswegen scheint das darunterliegende Dentin durch und verleiht ein opakeres Aussehen (Lee und Yu 2007).

### **1.3 Kronen als Restaurationsform**

Kronen- und Brückenrestorationen können nach verschiedenen Kriterien wie nach der Ausdehnung der Präparation, der Ästhetik, der Funktion, der verwendeten Materialien und nach der Tragedauer eingeteilt werden (Gernet et al. 2007). Der Erfolg einer Restauration hängt vom Geschick des Zahnarztes ab (Paravina 2009c), die individuellen Anforderungen des Patienten zu realisieren und dabei biologische, ästhetische und funktionelle Parameter zu berücksichtigen (Sironi et al. 2004). Die Schwierigkeit besteht darin, den richtigen Farbton, die Helligkeit und Intensität des künstlichen Zahnes dem Restgebiss anzupassen (Lee et al. 2010a, Lee et al. 2010b). Zur Herstellung einer solchen Restauration können grundsätzlich verschiedene Gerüstmaterialien, Verblendungen und Werkstoffe verwendet werden.

#### **1.3.1 Metallkronen mit Kunststoffverblendung**

Für Verblendungen von Metallkronen werden Kunststoffe aus der Klasse der Komposit-Füllungswerkstoffe verwendet (Kappert und Eichner 2008). Da zwischen Metall und Kunststoff keine direkte chemische Reaktion stattfindet, wird der Verbund durch makromechanische (Stäbchen und Perlen) und mikromechanische Retention (z.B. Silanisierung) gewährleistet. Zur mechanischen Verankerung dienen die Retentionsperlen und Netzstrukturen, die bereits Bestandteil des Metallgerüsts sind. Damit man unerwünschten Randspalten vermeidet, werden Verfahren mit chemischem Verbund zwischen Metallgerüst und Kunststoff angestrebt (Marxkors R 1993). Die Verblendkunststoffe gibt es als heiß- und kalthärtende Pulver-/Flüssigkeits-Systeme, als heißhärtende Einkomponenten-Systeme (Pasten) und als lichthärtende Einkomponenten-Systeme (Pasten) (Kappert und Eichner 1996).

Bei den Pulver-/Flüssigkeit-Systemen besteht das Pulver aus einer Mischung von unvernetzten und stark vernetzten Polymethacrylaten unterschiedlicher Molmassen. Die heißhärtenden Materialien enthalten im Pulver den Initiator Dibenzoylperoxid. Sie sind farbstabil und abriebfest. Die kalthärtenden Materialien haben in der Regel einen Initiator auf Basis von Barbitursäure-Verbindungen.

Die heißhärtenden Einkomponenten-Systeme müssen nicht angemischt werden, sondern können direkt verarbeitet werden. Sie bestehen aus einer Mischung von Dimethacrylaten, und Peroxidverbindungen als Initiator. Farbstabilität und Abriebfestigkeit sind besser als die der Pulver/Flüssigkeits-Systeme.

Die Zusammensetzung der lighthärtenden Verblendkunststoffe ist mit den heißhärtenden Einkomponenten-Systemen identisch. Der Unterschied liegt allein beim Initiator, der hier ein Campherchinon und nicht der Heißinitiator Dibenzoylperoxid ist. Daher erfolgt die Aushärtung mit speziellen Polymerisationslampen (Marxkors et al. 2008).

### **1.3.2 Metallkronen mit Keramikverblendung**

Das Metallgerüst sorgt für die mechanische Stabilität der Krone, während die Verblendkeramik dem Zahnersatz ein natürliches Aussehen verleihen soll. Diese keramische Massen bestehen aus Feldspat und Leuzitkristallen. Die mechanische Bindung wird durch eine Vorbereitung des Metallgerüsts erzielt. Dabei wird die Oberfläche durch Schleifen und Strahlen mit Aluminiumoxid durch einen Oxidationsprozess aktiviert. Entscheidend für den Verbund zwischen Metall und Keramik ist die Grundmasse. Diese Grundmassen sind opake Abdeckkeramiken, die zur sicheren Haftung auf dem Metallgerüst führen und diese optisch abdecken. Während des Brennens kommt es zu einer chemischen Reaktion. Beim Aufbrennen der Keramik muss die Legierung eine ausreichende Warmfestigkeit haben, damit sich das Metallgerüst nicht durchbiegt (Seghi et al. 1986). Der eigentliche Aufbau der Zahnfarbe erfolgt mit Dentin- (schwach transluzente Dentalkeramik) und Schmelzmassen (transluzent und leicht eingefärbte Schmelzkeramik). Der Hauptteil der Keramikmasse wird in einem Hauptvakuumbrand hergestellt. Somit wird die Bildung von Poren reduziert, durch welche die Keramik opaker erscheinen würde. Nach diesem Hauptvakuumbrand wird die Keramik angeschliffen und keramische Masse nachgetragen. Danach folgt der zweite und finaler Glanzbrand unter Vakuum und anschließend folgen die Formkorrekturen (Hatzikyriakos 2007).

### 1.3.3 Kunststoffkronen

Mit dem Einsatz von hochvernetzten Kompositwerkstoffen bekommen Polymerkronen das Potenzial für den Einsatz als Kronen. Für eine sofortige Versorgung präparierter Zahnstümpfe stehen schnell härtende, autopolymerisierende Materialien zur Verfügung. Im Vergleich zu den autopolymerisierenden PMMA-Kunststoffen zeigen die licht-, chemisch- oder dualhärtenden Komposite auf BisGMA-Basis verbesserte mechanische und chemische Eigenschaften. Der zahntechnische Aufwand ist geringer, da keine Metallkosten anfallen. Kunststoffkronen neigen allerdings zu einer erhöhten Plaqueakkumulation (Kappert und Eichner 2008). Wegen der bislang ungenügenden mechanischen Festigkeit sollten Kunststoffkronen zur Zeit vor allem nur zu provisorischen oder langzeitprovisorischen Zwecken eingesetzt werden .

### 1.3.4 Keramikronen

In der heutigen Zahnheilkunde werden zwei vollkeramische Systeme unterschieden:

- 1) Silikatkeramiken (auch als Glaskeramik bezeichnet) besitzen eine amorphe Struktur und werden aus Feldspat, Quarz und Kaolin hergestellt. Die Kristallisation verstärkt die Festigkeit der Keramik. Feldspatkeramiken zeichnen sich durch eine sehr gute Transluzenz aus und verfügen über einen so genannten „Chamäleon-Effekt“, sodass der daraus gefertigte Zahnersatz eine hohe Anpassungsfähigkeit an die unterliegende Zahnschicht aufweist (Vichi et al. 2011).
- 2) Oxidkeramiken sind Materialien, die aus Aluminiumoxid und Zirkoniumdioxid zusammengesetzt werden. Man unterscheidet die glasinfiltrierten von den dicht gesinterten Oxidkeramiken. Die glasinfiltrierten Keramiken werden in einem zweiten Arbeitsgang mit einem lanthanhaltigen Glas infiltriert, dabei entsteht ein porenfreies Keramikgerüst. Die dicht gesinterten Oxidkeramiken bestehen aus kristallinen Metalloxiden (Lee und Yu 2007). Diese Materialien sind härter, wärmebeständiger und verschleißfester. Nachteilig wirken sich ihre Zähigkeit und die geringe Toleranz gegenüber raschen Temperaturwechseln, aus.

Biegefestigkeit, Bruchzähigkeit und unterkritische Risswachstumsfaktoren erlauben eine Bewertung dieser vollkeramischen Systeme. Oxidkeramiken haben als Gerüstwerkstoff gegenüber Silikatkeramiken diesbezüglich in der Regel Vorteile, die

sich in einer höheren Dauerfestigkeit niederschlagen (Stellungnahme der DGZMK et al. 2007a).

Bei der Herstellung vollkeramischer Kronen können diese mit oder ohne Hartkerngerüst angefertigt werden. Für die finale Keramiksichtungen kann man zwei Techniken anwenden:

- 1) Gleichmäßige Schichtung: Die Schichtung beginnt mit einer opaken Dentinmasse, welche mit einer weniger opaken überschichtet wird. Abschließend werden Schmelz und transparente Massen aufgetragen. Dabei ist jede neue Schicht weniger opak als die darunterliegende.
- 2) Geordnete Schichtung: Der Techniker beginnt mit einer Masse maximaler Opazität bei den unteren Schichten und baut Massen ohne Opazität und mit hoher Transluzenz auf. Man bewirkt natürliche Lichteffekte die mit gleichmäßigen Schichtungen nicht zu erreichen sind .

Keramiken sind nicht wasserlöslich und korrosionsstabil (Ishikawa-Nagai et al. 2009, Ishikawa-Nagai et al. 2010). Im Gegensatz zur Kunststoffkrone führt die hohe Qualität einer glasierten Oberfläche zu einer geringeren Plaquebesiedelung (Lee et al. 2010b, Corciolani et al. 2011).

## **1.4 Einflussfaktoren auf die dentale Farbauswahl**

Bei der Auswahl der korrekten Zahnfarbe spielen neben den eventuellen Farbempfindungsstörungen verschiedene Faktoren eine sehr wichtige Rolle (Touyz et al. 1999). Objektive und subjektive Kriterien beeinträchtigen die Farbauswahl, was oft zu unbefriedigenden Ergebnissen führen kann (Paravina 2009a, Paravina 2010). Diese Einflüsse sind abhängig von den Lichtverhältnissen, den Farben des Umfelds (räumliche Kontraste), den vorher wahrgenommenen Farbreizen sowie der Form und Textur des Zahnes (Schriever et al. 1993).

### **1.4.1 Zeitpunkt**

Die Augen sind nicht immer in der Lage, richtige Farbinformationen zu liefern da sie ermüden. Nach einer längeren Untersuchungszeit kann das Sehvermögen des Behandlers nachlassen. Deshalb soll die Zahnfarbbestimmung vor Behandlungsbeginn erfolgen (Schmidseder, 1998). Der Zahnarzt muss in jedem Fall sicherstellen, dass der Zahn dazu frei von Plaque, Verfärbung und kontaminierendem Speichel ist (Stellungnahme der DGZMK und Faber 2002).

### **1.4.2 Lichtqualität**

Das günstigste Licht für die Zahnfarbbestimmung findet sich gegen 11.00 Uhr vormittags unter diffusem Nordlicht bei wolkenlosem Himmel (Corcodel et al. 2009). Das Tageslicht besitzt einen geringen Farbwert (value). Es ändert sich im Laufe der Tages- und Jahreszeiten (Kappert und Bregler 1992). Das Tageslicht ist nicht immer gleich. Demnach ändern sich die Lichtverhältnisse in Abhängigkeit sowohl davon, ob direktes oder indirektes Tageslicht scheint, als auch davon, ob es bewölkt oder regnerisch ist.

Da das Tageslicht vielen Schwankungen unterworfen ist, und dadurch in der Praxis nicht standardisierbar ist, wurden künstliche Lichtquellen entwickelt.

Künstliches Licht wird nach Art des jeweiligen Leuchtmittels unterschieden. In Glühlampen erzeugen die Strahlen ein rötlich-gelbes Licht. Diese Lichtart hat ihre größte Intensität im Langwellenbereich (Farbtemperatur 3000-4000K). Leuchtstofflampen enthalten ein Gemisch aus mehreren Leuchtstoffpulvern (Ratzmann et al. 2008). Dadurch entsteht weißes Licht: Warmweiß 3000K, Standardweiß 4000K

und Tageslicht 6000K. Für Deutschland ist die Lichtart D65 als Normlicht mit einer Farbtemperatur von 5500-6500K (CIE-Norm, Normlichtart C) festgesetzt und wird in Tageslichtlampen auch in Zahnarztpraxen eingesetzt (Curd et al. 2006). Die Beleuchtungsstärke wird in Lux (L) gemessen und sollte bei 1000-2000L liegen. Bei zu hellem Licht (>1500L) wirkt die Zahnfarbe zu hell, bei zu dunklem Licht (<1500L) zu grau (Kappert und Bregler 1992).

### 1.4.3 Lichtsysteme bei der dentalen Farbbestimmung

Da die Zahnfarbe in der Praxis bei immer gleichen Lichtbedingungen bestimmt werden sollte, wurden von der Industrie spezielle Lichtquellen entwickelt.

Die Anwendung von Dioden-Lichtsystemen (LED) gewährt die Möglichkeit, Zahnfarbe unabhängig von verschiedenen Tageszeitfaktoren und Wetterverhältnissen zu bestimmen (Oultram, 2007a).

Die Beleuchtungsstärke dieser Lichtquellen liegt bei ca. 750 bis 1500L. Diese Leuchtstofflampen erzeugen Licht mit einer Farbtemperatur von 5500K. Dies entspricht der Norm DIN 67505 für die Zahnfarbbestimmung. Die mit „D“ beginnenden Normlichtarten beinhalten UV-Anteile, die für den Menschen zwar nicht sichtbar, aber bei der Arbeit mit fluoreszierenden Oberflächen (etwa bei bestimmten Papierarten) wichtig sind. Diese Normlichtarten entsprechen Tageslicht mit dem natürlichen UV-Anteil des Sonnenlichtes.

So erzeugen diese LED-Leuchten ein Spektrum, das dem Tageslichtspektrum sehr ähnlich ist (Bücking, 2006).



Abbildung 3: Lichtquelle (Rite lite L.E.D, Issaquah, USA)

Diese Lichtquellen sind einfach in der Handhabung und auch mit nur einer Hand bedienbar (Abb.3, Seite 10). Sie bieten ein flimmerfreies Licht zur Entspannung der Augen und weniger Ermüdung des jeweiligen Anwenders (Abb. 4, Bücking, 2006).



Abbildung 4: Lichtquelle (Dialite Color, Hamburg, D; Bücking, 2006)

#### 1.4.4 Abstand

Die Entfernung des betrachtenden Auges sollte 50-70 cm zum zu bestimmenden Zahn betragen. Daher sollte der Farbring in Armlänge an den geöffneten Mund gehalten werden. Das Tageslicht auf den zu beurteilenden Zahn in einem Winkel von 45° fallen (Junker-Malcharek et al. 2002).

#### 1.4.5 Dauer

Bei der Farbbestimmung ist es vorteilhaft, die Untersuchung nur für möglichst 5-7s auszuführen (Miller et al. 1993). Eine sichere Farbauswahl ohne jeglichen Einfluss von Müdigkeit wird erzielt, wenn die Zahnfarbe zügig und schnell bestimmt wird. Eine längere Beobachtungszeit führt zu einer Beeinträchtigung der Farbwahrnehmung (Feigenbaum und Mopper 1989). Der erste Farbeindruck ist in der Regel der Aussagekräftigste. Durch das Betrachten einer hellblauen Fläche ist eine gewisse Erholung der Fähigkeit zur Farbwahrnehmung möglich (Miller et al. 1993).

#### **1.4.6 Umfeld**

Während der Farbbestimmung sollten intensive Umgebungsfarben vermieden werden. Der Patient sollte nicht oder nur wenig geschminkt sein. Dies gilt vor allem für den Lippenstift. Farbige Kleidung sollte mit einem Tuch in neutraler Farbe (z.B. creme), abgedeckt sein. Eine auffällige Farbgestaltung von Vorhängen und Wänden sollte in den Behandlungsräumen vermieden werden (Stellungnahme der DGZMK und Faber 2002). Getönte Brillen oder Lupenbrillen sollten vom Farbbestimmer bei der Zahnfarbbestimmung nicht getragen werden, da es so zu veränderter Farbwahrnehmung kommen kann (Klinke et al. 2007).

Die Oberflächenqualität der Nachbarzähne spielt eine ebenfalls wichtige Rolle. Der Zahnarzt muss in jedem Fall bei der Farbbestimmung den untersuchten Zahn frei von Speichel halten. Eine raue Oberfläche hat weniger Chroma als eine glänzende (polierte oder feuchte). Zu beachten sind die verschiedenen Flächen des Zahnes, die je nach Einfallswinkel das Licht unterschiedlich reflektieren. Somit sollte die Zahnfarbe an der vestibulären Fläche bestimmt werden. Die Zahnfarbe ist von der Farbe des Dentins abhängig, die durch den darüberliegenden Zahnschmelz scheint (Chu 2002). Der Bereich der Schneidekante besteht aus Schmelz und erscheint dadurch transluzent. Bei jungen Patienten hat der Schmelz einen niedrigeren Mineralgehalt und ist sehr dick. Bei älteren Patienten hingegen ist der Schmelz reich an Mineralien und dünner. Deswegen scheint die Farbe des darunter liegenden Dentins wenig hindurch. Der Schmelz wird mit zunehmendem Alter transluzenter, das Dentin verändert sich und die Pulpa verengt sich durch Sekundärbildung (Lee und Yu 2007). Diese Faktoren können zusammenwirken und so die Verdunklung der Zähne bewirken (Chu 2002).

#### **1.4.7 Die eine Farbbestimmung durchführende Person**

Die Zahnfarbe wird in der Regel vom Zahnarzt oder Zahntechniker bestimmt (Capa et al. 2010). Der Patient sollte an der Farbauswahl beteiligt werden. Vorher sollte eine Farbsehschwäche von den Untersuchern (Behandler und Assistenz) ausgeschlossen werden (Haskett und Hovis 1987). Dies kann mit einem Farbsehtest geprüft werden (Bratner et al. 2010) (siehe Abschnitt 1.1).

Von Bratner et al. 2010 wurde anhand einer Studie an unterschiedlichen Standorten erwiesen, dass der Ishihara-Test routinemäßig als Screening der Farbtüchtigkeit in der Zahnmedizin eingesetzt werden kann (Abb.1, S.2).

Die bessere Fähigkeit von Frauen, Zahnfarbe zu bestimmen wird von Junker-Malcharek et al. (2002) bestätigt. Nach Aussage von Faber (Faber FJ und Schlegel G

1995, Faber und Schlegel 1999), van der Burgt et al. (1985) und Mollon (1986) spielt das Geschlecht keine bedeutende Rolle für die Qualität der Farbbestimmung. Im Vergleich dazu erwähnt Haddad (2009) nicht nur den Unterschied zwischen Frauen und Männern bei der Farbbestimmung sondern auch geschlechtsspezifische Unterschiede, die richtige Zahnform zu finden. So definierten die Frauen die Zahnfarbe genauer als die Männer (Haddad et al. 2009).

Die Berufserfahrung spielt bei der Farbbestimmung eine entscheidende Rolle (Borbely et al. 2010, Paravina et al. 2010). Dies gilt auch für andere Bereiche der Zahnheilkunde. So zeigten Boeckler et al. (2005) Unterschiede zwischen Zahnärzten, Assistenz und Zahntechnikern bei der Einschätzung von Kronenpassung bzw. des Kronenrandspalts.

Faber et al. (1995,1999) fanden bei ihren Studien mit vier Berufsgruppen keinen signifikanten Unterschied bei der Bestimmung der Zahnfarbe zwischen Zahnärzten, Zahnarthelfern und Studenten. Zur Gruppe der Zahntechniker gab es höchst signifikante Unterschiede (Faber und Schlegel 1995, Faber und Schlegel 1999).

Zwischen verschiedenen Altersgruppen konnte kein hoch signifikanter Unterschied gefunden werden, obwohl sich bei den Untersuchungen von Kroszewsky et al. (2004) und Capa et al. (2010) die jüngeren im Gegensatz zu den älteren Probanden als farbentüchtiger erwiesen.

In schwierigen Fällen, speziell bei Frontzahnkronen, sollte als Ergänzung der Zahnfarbbestimmung die Meinung eines versierten Zahntechnikers hinzugezogen werden (Stellungnahme der DGZMK und Faber 2002). Wenn der Zahntechniker nicht direkt am Vorgang der Zahnfarbbestimmung am Patienten teilnehmen kann, ist es die Aufgabe des Zahnarztes, dem Techniker möglichst viele Informationen über die Zahnfarbe und die Zahnform zu übermitteln (Davison und Myslinski 1990).

#### **1.4.8 verschiedene Hilfsmittel**

Da Nuancen in der Zahnfarbe von der Zahnform abhängig sind (Reflektionswinkel des Lichtes) ist es hilfreich dem Zahntechniker Situationsmodelle oder Planungsmodelle zur Verfügung zu stellen.

Skizzen und Fotos können nützlich sein, damit der Zahnarzt dem Zahntechniker möglichst viele Informationen übermitteln kann (Chu et al. 2010).

Die fotografische Dokumentation gibt dem Zahntechniker eine exakte Vorstellung von der Zahnfarbe und der Form nicht nur des Zahnes, sondern auch der Gesichtsform des Patienten, sowie der Lippen- und Gesichtslinien (Smith et al. 2008).

Um Übertragungsfehler vom Zahnarzt bis zum Zahntechniker auszuschließen, ist eine Dokumentation aller Zahnfarbbestimmungen, die an den jeweiligen Zähnen genommen wurden, notwendig (Ecker und Moser 1987).

### **1.5 Methodik der dentalen Farbbestimmung**

Der Zahnarzt sollte sich einiger Gesichtspunkte bei der Zahnfarbbestimmung bewusst sein. Abhängig von den verschiedenen Einfluss-Faktoren (Abschnitt 1.4) erscheint dieselbe Zahnfarbe jeweils immer anders (Tapella, 2010).

Die korrekte Farbauswahl ist eine schwierige Aufgabe mit einer großen Anzahl von Variablen (Schriever et al. 1993). Um richtige Ergebnisse zu erlangen, ist ein methodisches Verfahren unumgänglich (Wasson und Schuman 1992).

Zur Zahnfarbbestimmung stehen von der Industrie verschiedene definierte Farbskalen/Farbringsysteme zur Verfügung (Park et al. 2006). Die verwendeten Farbringsysteme, die der Zahnarzt und der Zahntechniker für die gleiche Patientenarbeit benutzt, müssen aus dem gleichen Material sein. Man verwendet Standardfarbmuster ohne Zahnhals (Raab, 2009).

So genannte Farbkommunikationsschemas sollten verwendet werden, denn die Farbe des zervikalen Drittels hat einen eigenen Farbwert und die vom mittleren bis zum inzisalen einen anderen. Diese Farbkommunikationsschemas bieten uns eine Vorlage, die es ermöglicht, alle Daten auf einem Formular zu haben – ein Laborfarbrezept (Vita Zahnfabrik 2009).

## **1.6 Visuelle Farbbestimmung in der Zahnheilkunde**

In der Zahnheilkunde verläuft eine Farbbestimmung stufenweise ab. Üblich sind der visuelle Vergleich mit Farbringsystemen, welche aus einzelnen Farbmustern in Zahnform aus Keramik oder Kunststoff, gefertigt sind. Zuerst wird durch einen visuellen Farbvergleich mit einem Farbringsystem die Grundfarbe des Referenzzahnes bestimmt, gefolgt von der Charakteristik seiner Besonderheiten und Lichteffekte (Baltzer und Kaufmann-Jinoian 2004). Die Information über die Farbmuster mit der besten Übereinstimmung wird an den Zahntechniker weitergegeben (Yilmaz und Karaagaciloglu 2011). Voraussetzung bei der visuellen Farbbestimmung ist, dass Zahnarzt und Zahntechniker dieselben Farbsysteme benutzen sollen (Setz et al. 1992). Farbmusterzähne verschiedener Farbringsysteme sind nicht immer farblich identisch.

### **1.6.1 Farbringsysteme**

Die Farbringsysteme sind nicht einheitlich, sondern produktabhängig in den Farben und Zahnformen gestaltet und entsprechend kodiert (Chu et al. 2010). Diese decken den Farbbereich der natürlichen Zähne mehr oder weniger ab (Chu 2002). Ursprünglich dienten die Farbringsysteme nur zur Auswahl von Prothesenzähnen. Später breitete sich der Anwendungsbereich dieser Farbringe auch auf die Kronen- und Brückentechnik aus (Hegenbarth, 1992). Farbringsysteme sollten idealerweise aus dem gleichen Material wie die geplante Restauration gefertigt sein. Diese Systeme sollten weiterhin einen Anhaltspunkt geben, wie in etwa der fertige Zahn aussehen sollte (Setz 1992).

Beispiele solcher Systeme sind: 1.Vita Classical (Abb.6, Seite 17), 2.Vitapan 3D-Master (Abb.7, Seite 18; beide Vita, Bad Säckingen, D), 3.Chromascop und 4.SR Vivodent PE (Abb.5, S.16; beide IvoclarVivadent, Ellwangen, D).

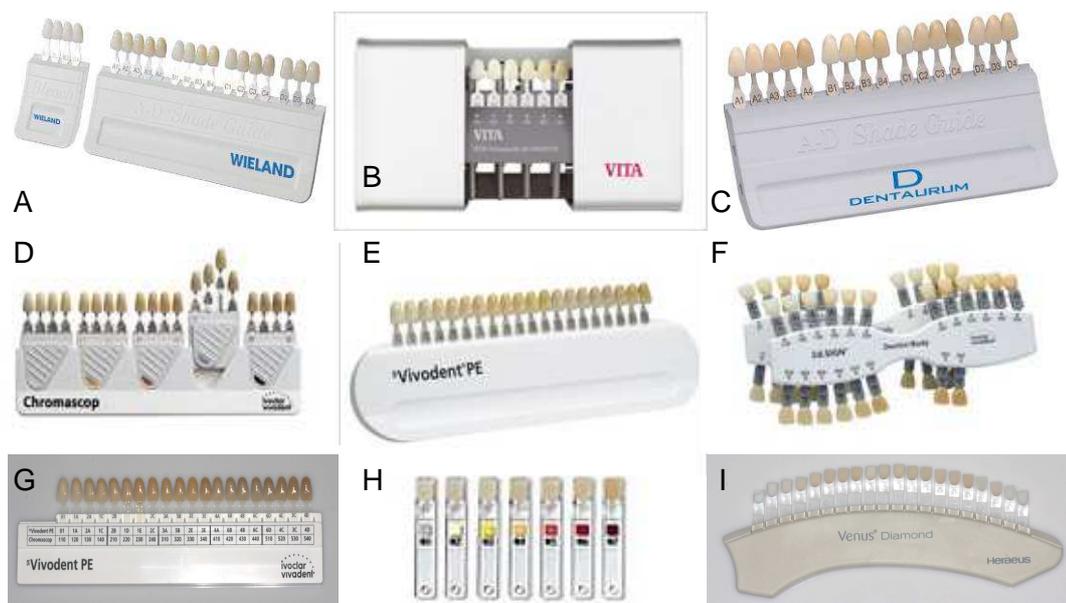


Abbildung 5: Beispiele verschiedener Farbringsysteme:

- A: Wieland x-Type Shade Guide, Wieland Dental, Pforzheim, D
- B: Vita Linearguide 3D-Master, Vita, Bad Säckingen, D
- C: A-D Shade Guide ceraMotion, Dentaaurum GmbH&Co, Inspringen, D
- D: Chromascop, IvoclarVivadent, Ellwangen, D
- E: Vivodent PE, IvoclarVivadent, Ellwangen, D
- F: IPS d.sign Farbschlüssel Dentin, IvoclarVivadent, Ellwangen, D
- G: Chromascop und Vivodent PE, IvoclarVivadent, Ellwangen, D
- H: Ceram x mono/duo, Dentsply Detrey GmbH, Konstanz, D
- I: Venus Diamond, Heraeus Kulzer GmbH, Hanau, D

### 1.6.2 Vitapan Classical

Das Farbringsystem Vitapan-Classical wurde im Jahr 1982 eingeführt und ist das meistbenutzte Farbringsystem der Firma VITA (Vitapan Classical, Vita, Bad Säckingen, D) (Abb.6). Die früheste Ausführung dieses Systems bekannt unter den Namen „Lumin Vacuum“, enthielt nur Farbtongruppierungen. Der Vita Classical Farbring besteht aus 16 einzelnen, herausnehmbaren zahnförmigen Farbmustern aus Keramikmassen (Vita Zahnfabrik 2009). Sie sind nach Farbton in vier Gruppen unterteilt: Gruppe A1-A4 den rot-braunen Farbtönen, Gruppe B1-B4 den rot-gelben Farbtönen, Gruppe C1-C4 den grauen und Gruppe D2-D4 den rot-grauen Farbtönen (Stoll et al. 2008).

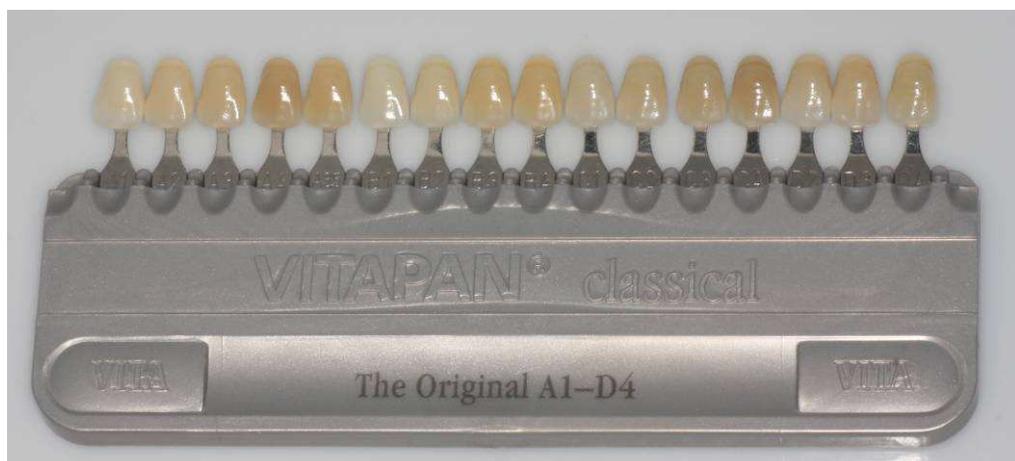


Abbildung 6: Der Vita Classical Farbringsystem

Mit dem Vita Classical Farbringsystem bestehen Probleme bei der differenzierten Beschreibungen von „Zwischentönen“. Diese konnten nur umschrieben oder aufgezeichnet werden (Junker-Malcharek et al. 2002).

### 1.6.3 Vitapan 3D Master

Das Vitapan 3D Master Farbringsystem kam 1998 von der Firma Vita mit einem dreidimensionalen Prinzip auf den Markt (Abb.7).

Ziel des Farbringens war die dreidimensionale Abdeckung der Zahnfarben mit der Berücksichtigung der Parameter Farbhelligkeit, Farbintensität und Farbton (Baltzer und Kaufmann-Jinoian 2004).



Abbildung 7: Der Vita 3D-Master Farbringsystem

Die Zahnfarbbestimmung muss in logischer Reihenfolge schrittweise durchgeführt werden. Im ersten Schritt wird die Helligkeitsstufe (1-5) bestimmt, daraus wird der mittlere Farbfächer (M) herausgezogen und aufgefächert. Im zweiten Schritt wird die Farbintensität (1-3) ausgesucht. Zuletzt im dritten Schritt wird der Farbton bestimmt, ob der natürliche Zahn gelblicher (L) oder rötlicher (R) als der mittlere Farbfächer (M) ist. Zur noch feineren Zahnfarbbestimmung können Zwischenfarben für die Helligkeitsstufen und die Farbintensität angegeben werden, dazu verwendet man die beiden Nachbarfarben (Vita Zahnfabrik 2010). Diese empfohlene Schrittweise von der Bestimmung der Helligkeit über die Farbintensität zum Farbton ist gewöhnungsbedürftig. Daher erfordert es einer Eingewöhnungsphase, die zu längeren Farbbestimmungszeiten führt. Abgesehen von der Erhöhung der Zahl von 16 Farbmustern des Vita Classical Farbringsystems auf 26 des Vitapan 3D-Master Farbringsystems tragen die gleichmäßigen Farbabstände zur Verbesserung der Treffsicherheit bei. Die Alternative der Mischung von Zwischentönen ist ein weiterer Vorteil, den bis dahin kein anderes Farbringsystem besaß (Junker-Malcharek et al. 2002).

## 1.7 Instrumentelle Farbbestimmung in der Zahnheilkunde

Seit vielen Jahren werden in der Industrie Messgeräte zur Farbüberprüfung angewandt. Die Messwerte sind immer abhängig von der Art des verwendeten Gerätes (Kim et al. 2009). Wie schon Treunert (2004) herausfand, lässt sich jedoch jedes Messgerät von Lichtdurchlässigkeit und Farbveränderung beeinflussen (Treunert und Faber 2004). Dobberstein (2009) kam zu dem Ergebnis, dass das Gerät weder die visuelle Effektanalyse noch das Auge an sich ersetzen kann. Die genaue Bestimmung der Grundfarbe eines Zahnes kann jedoch zuverlässig bestimmt werden (Dobberstein, 2009). Sie sind der Funktionsweise des menschlichen Auges nachempfunden (Dozic et al. 2007). Die Farbbestimmung kann schnell und sicher durchgeführt werden und ist unabhängig von der Beleuchtung, der Umgebung und vom jeweiligen Benutzer (Ishikawa-Nagai et al. 1994, Ishikawa-Nagai et al. 2005).

Zwei technische Messprinzipien kommen zur Anwendung:

- die kolorimetrische (Seghi et al. 1989, Yilmaz und Karaagacioglu 2008) und
- die spektrofotometrische Farbmessung (Lee et al. 2010c).

Die Kolorimeter berechnen die drei Dimensionen der Farbe ähnlich wie die visuelle Farbmusterung der CIELab-Parameter (Paravina 2009b). Ihre Funktion ähnelt der Farbwahrnehmung des menschlichen Auges (Jasinevicius et al. 2009, Johnston 2009). Für jede Farbwahrnehmung ist ein RGB-Wert definiert: (R) für Rot, (G) für Grün und (B) für Blau. Die korrekte Kalibrierung der drei Filter stellt ein technisch nicht einfachen Vorgang dar, weshalb diese Geräte kompliziert und ungenau sind (Kourtis et al. 2009). Die Spektrophotometer messen die Spektralfarben der vom Objekt reflektierten Strahlung nach 16 Parametern im gesamten sichtbaren Spektrum von 380nm bis 720nm in 20nm Schritten. Sie messen die Menge des sichtbaren Lichtes, welches in einer bestimmten Wellenlänge für jede Helligkeit, Sättigung und jeden Farbton reflektiert wird (Da Silva et al. 2008). Die Genauigkeit der Messergebnisse ist von der Qualität des Lichtes abhängig (Dozic et al. 2010b). Die Geräte errechnen die Farbwerte und geben auf deren Grundlagen den Farcode des Zahnes im angewählten Farbenschlüssel wieder (Douglas et al. 2007).

### 1.7.1 Technische Grundlagen

Ziel der Entwicklung von Farbmaßsystemen war es, Farben in Zahlenwerten ausdrücken zu können. Solche Systeme sind:

- das Munsell-System (Abb.8)
- der L\*a\*b\* Farbraum (Abb.9, S.21)
- das XYZ Farbsystem (Abb.10, S. 22).

Sowohl der L\*a\*b\* Farbraum als auch das XYZ Farbsystem beruhen auf den Normen der internationalen Beleuchtungskommission CIE (Commision International de l'Eclairage).

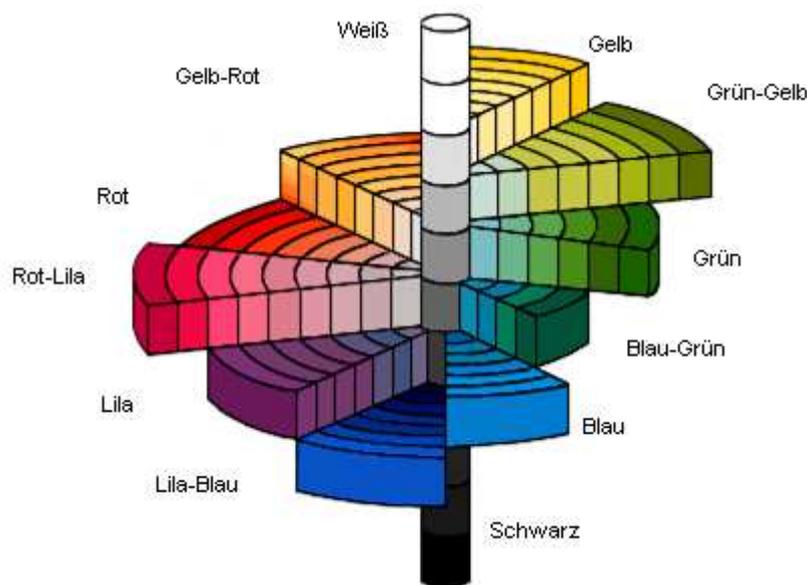


Abbildung 8: Dreidimensionales Munsell-System

Bei dem Munsell-System existieren drei Dimensionen. Der Farbton (Hue) ist derjenige Parameter der eine Farbfamilie bestimmt und von den anderen unterscheidet. Die Farbsättigung (Chroma) des Farbtones kann als Menge der Pigmente definiert werden. Die Helligkeit (Value) ist ein Maß für die Lichtleistung (sie gibt den Grauanteil einer Farbe an) und ist unabhängig vom Farbton (Sproull 1973a, Sproull 1973b, Sproull 1974). Helligkeitsunterschiede werden leichter als Farbsättigungen unterschieden (Hegenbarth, 1992). Dieses System ermöglicht es, eine Farbe sehr genau zu bestimmen und nachzubilden. Es ist auf internationaler Ebene anerkannt. Das Munsell

Farbsystem kennzeichnet Farben symbolisch mit Farbtafeln. Die Grundfarben sind festgelegt, wobei Farbtafeln Helligkeit und Sättigung der Grundfarbe beschreiben . Da es zur Bestimmung opaker Oberflächen entwickelt wurde, ist es nicht ganz auf Zähne anwendbar. Deshalb wurde eine vierte Größe, die Transluzenz hinzugefügt. Die Transluzenz vom Schmelz und Dentin variiert individuell und unterliegt altersbedingten Veränderungen.

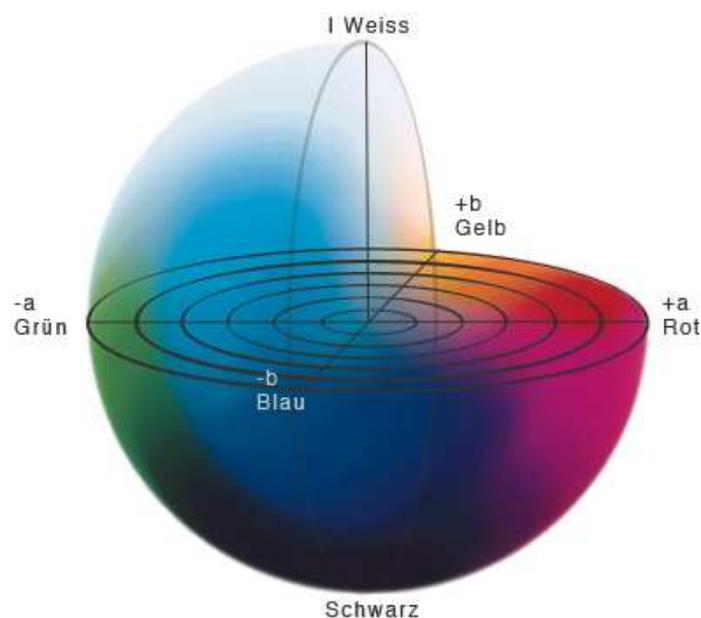


Abbildung 9: L\*a\*b\* Farbraum

(Quelle: <http://farbe.wisotop.de>)

Im CIE-L\*a\*b\*-System sind die Baseigenschaften von Farben dreidimensional in einem Kugelmodell beschrieben. Der L\*a\*b\* Farbraum hat eine vertikale Achse, womit die Helligkeit angezeigt wird (Abb.9). Die beiden Horizontalachsen geben die Anteile an Rot/Grün und Gelb/Blau an (Paravina et al. 2002). Der Vorteil ist die visuelle Gleichabständigkeit. Die geometrischen Abstände zweier Farbborte entsprechen den visuell wahrgenommenen Farbabständen. In der Zentralachse ist die farblose Helligkeit von schwarz (L\*, unten) bis weiss (L\*, oben) dargestellt. Die Farbtöne (a\*,b\*) liegen außerhalb der Zentralachse, wobei (L\*) Maß für die Helligkeit eines Objektes, (a\*) Maß für die Rotheit oder Grünheit und (b\*) ein Maß für die Gelbheit oder Blauheit ist (Yuan et al. 2007).

Im XYZ-System werden mittels Farbmessgeräten mit  $x$  und  $y$  die Koordinaten des Farbortes in einem Farbdreieck dargestellt. Die Helligkeit  $Y$  wird zusätzlich in Prozentwerten ausgedrückt. Es wurde von der CIE (Commission Internationale d'Eclairage) entwickelt und ist ein geräteunabhängiges Farbmodell, das die durch den Menschen wahrnehmbaren Farben erfasst (van der Burgt et al. 1985). Darin sind alle sichtbaren Farben enthalten, jedoch nicht wie im  $L^*a^*b^*$ -Farbmodell mit visuell gleichem Abstand. Die Normfarbwerte (Koordinaten  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ ) entsprechen den Farben Rot, Grün und Blau. Jeder Farbe wird dabei ein bestimmter Punkt innerhalb eines XY-Koordinatensystems zugeteilt, auf der  $X$ -Achse des Koordinatenkreuzes werden alle Rotanteile einer Farbe abgetragen, auf der  $Y$ -Achse die Grün-Anteile. Zusätzlich werden auf der  $Z$ -Achse die unterschiedlichen Helligkeiten dargestellt. Im CIE-Normalfarbraum werden alle sichtbaren Farben wiedergegeben. Die Spektralfarben liegen auf der gekrümmten Außenlinie. Auf der unteren Geraden ist die Purpurlinie, auf ihr liegen die additiven Mischfarben aus Blau und Rot. Additive Mischfarben liegen auf der Geraden zwischen zwei Ausgangsfarben (Sproull 1973a, Sproull 1973b, Sproull 1974) (Abb.10).

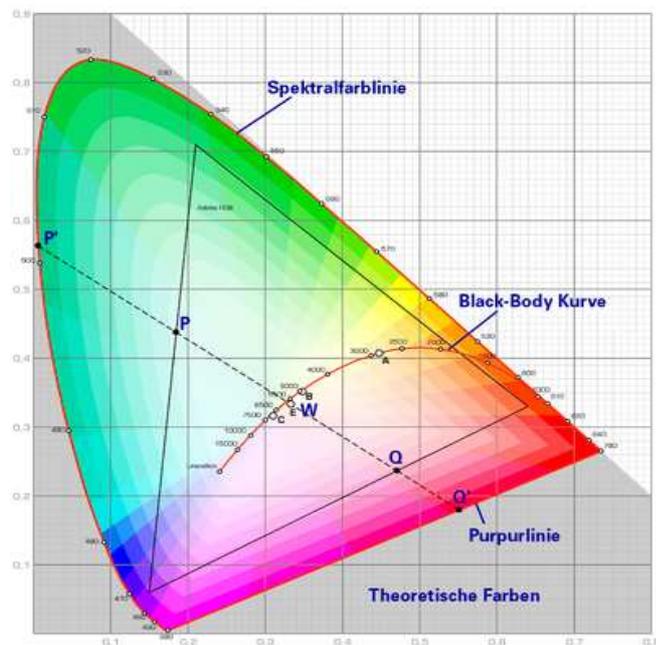


Abbildung 10: CIE-XYZ-Farbsystem  
(Quelle: <http://de.wikipedia.org>)

## 2 Ziel

Die hohe Anzahl der vorliegenden wissenschaftlichen Untersuchungen verdeutlicht die Komplexität des Problems der Zahnfarbbestimmung. Da die Zahnfarbe in der Praxis bei immer gleichen Lichtbedingungen bestimmt werden sollte, wurden von der Industrie spezielle Lichtquellen entwickelt.

Nach Durchsicht der Literatur muss dabei festgestellt werden, dass trotz einer Vielzahl von Studien keine Untersuchungen zur Bewertung des Einflusses von künstlichen Lichtquellen auf die Qualität der Bestimmung der Zahnfarbe vorliegen.

Ziel dieser Untersuchung war die Überprüfung des möglichen Einflusses einer künstlichen Lichtquelle auf die dentale Farbbestimmung mit Hilfe verschiedener Farbringsysteme.

Unterschiedliche Faktoren wie das Geschlecht und das Alter sind bisher unzureichend untersucht worden. In den meisten Studien wurde allein das Kriterium Berufserfahrung beleuchtet. Deswegen sollte in dieser Studie der Einfluss der Berufs (Zahnarzt, Zahntechniker, Zahnarzthelfer, Zahnmedizinstudent), des Geschlechts (männlich, weiblich) und des Alters (<35Jahre, ≥35Jahre), getrennt untersucht und deren Auswirkungen auf die Zahnfarbbestimmung ermittelt.

Weiterhin sollte untersucht werden, ob sich verschiedene Farbringsysteme zur Bestimmung von Zahnfarben unterscheiden und wie sich der Einsatz dieser künstlichen Lichtquelle auf die Reproduzierbarkeit der Ergebnisse auswirkt.

Durch die Überprüfung verschiedener Materialien sollte überprüft werden, welchen Einfluss der Einsatz der künstlichen Lichtquelle auf die Farbbestimmung unterschiedlicher Restaurationsmaterialien ausübt.

Abschließend sollte untersucht werden, welchen Einfluss verschiedene Beleuchtungssituationen auf die Farbbestimmung mit den Farbringsystemen haben. Dazu wurde Tageslicht und eine künstliche Lichtquelle verwendet.

### 3 Material und Methoden

#### 3.1 Herstellung der Kronen

Auf vier Oberkiefermodellen (# 6230401, KaVo, Bieberbach / Riß, D) sollten insgesamt acht Kronen aus vier verschiedenen Kronenmaterialien hergestellt werden. Zuerst erfolgte die Präparation zur Aufnahme der Kronen an den KaVo-Modellzähnen 11 und 21. Die Inzisalkante wurde 2 mm abgetragen, die Kontaktpunkte durchtrennt und die Mantelfläche >1,5 mm abgetragen. Die Präparationsgrenze wurde als Hohlkehle angelegt. Zum Abschluss der Präparation wurde der Stumpf geglättet. Es wurden auf den präparierten Zähnen 11 und 21 jeweils zwei Vollkeramikronen (IPS e.max Press HAT, Ivoclar Vivadent, Schaan, FL), zwei Kunststoffkronen (SR Adoro, Ivoclar), zwei Metallkronen mit Keramikverblendung und zwei Metallkronen mit Kunststoffverblendung gefertigt. Jede Krone und jedes Material wurde jeweils in den Zahnfarben A4 und B2 hergestellt bzw. verblendet (Vita Classical; Abb.11, 12, S.25).

Die Keramikronen (IPS e.max Press HAT, Ivoclar) wurden aus Lithium-Disilikat-Glaskeramik-Rohlingen gefertigt (Abb.21, S.34). Dazu wurden die Kronen vollanatomisch in Wachs (S-U-Ästhetikwachs-O, Schuler Dental, Ulm, D) modelliert, eingebettet (IPS PressVestSpeed Einbettmasse, Ivoclar) und anschließend im Lost-Wax-Verfahren gepresst (Brenn-Temperatur 750°C, Ofen: VarioPress300, Zubler, Aarau, CH). Anschließend erfolgte mittels der Cut-back-Technik eine Reduktion im Schneidekantenbereich. Mit den IPS e.max Ceram Schichtmassen (Traspa, Incisal, Impulse; Ivoclar) wurde sowohl die anatomische Form komplettiert als auch die individuelle Ästhetik erzielt (Gesamtschichtstärke der gepressten Kronen 1,9 mm).

Die Kunststoffkronen wurden direkt auf dem Stumpf mit einer Wandstärke von ca.1,5mm vollanatomisch aus einem speziellen Kunststoff schichtweise modelliert (SR Adoro, licht-/hitzehärtendes Verblend-Composite; Ivoclar; Abb.21, S.34).

Sowohl die Metallkronen mit Keramikverblendung (Abb.22, S.34), als auch die Metallkronen mit Kunststoffverblendung (Abb.22, S.34) wurden aus einer CrCoMo-Speziallegierung (Co 61,1%, Cr 32%, Mo 5,5%, Si 0,7% und Mn 0,7%; OKTA-C, SAE Dental Vertriebs GmbH, Bremerhaven, D) und in einer Wandstärke von 0,4 mm hergestellt. Die in Wachs (S-U-Ästhetikwachs-O, Schuler Dental) modellierten Kronenkäppchen wurden mittels der gipsgebundenen Einbettmasse Heraeus Speed (Heraeus Dental GmbH, Hanau, D) im Vakuum-Anrührgerät Multivac 4 (Degussa) zum Guss vorbereitet. Die Verblendung der Metallkronenkäppchen mit Kunststoff erfolgte mit dem lichthärtenden Verblend-Composite SR Adoro (Ivoclar; Verblendschicht ca.

1,2 mm) und bei den metallkeramischen Verblendkronen mit der Keramikmasse InLine (Ivoclar, Schichtkeramik; Verblendschichtdicke ca.1,2 mm).

Die Keramikronen (Ke) und die Metallkronen mit Keramikverblendung (M/Ke) wurden im Labor R&K Zahntechnik (Berlin, D) hergestellt. In der Zahntechnik der Poliklinik für zahnärztliche Prothetik der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg wurden die Kunststoffkronen (Ku) und die Metallkronen mit Kunststoffverblendung (M/Ku) hergestellt. Anschließend wurden alle Kronen mit Panavia F2.0 (Kuraray, Tokio, J) auf die Stümpfe adhäsiv zementiert.



Abbildung 11: Die Kronen in der Ansicht von vestibulär und palatinal.

(Zahnfarbe Vita B2) A: Ke, B: Ku, C: M/Ke, D: M/Ku

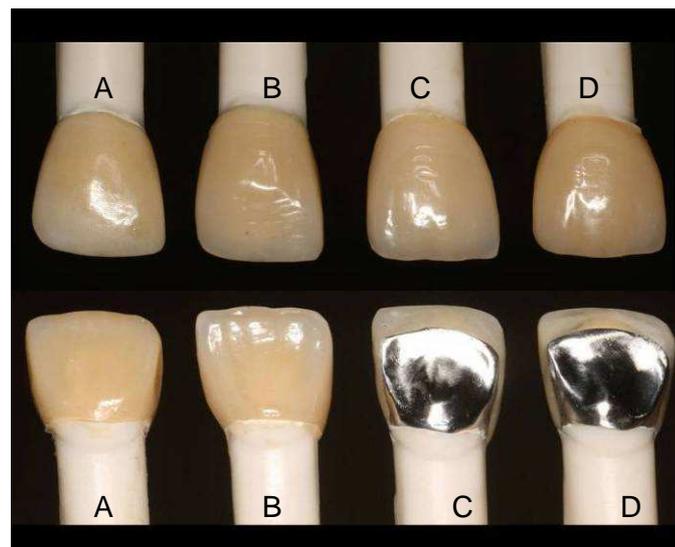


Abbildung 12: Die Kronen in der Ansicht von vestibulär und palatinal.

(Zahnfarbe Vita A4) A: Ke, B: Kun, C: M/Ke, D: M/Ku

### 3.2 Bestimmung des Kronenreferenzfarbwertes

Nach dem Einsetzen der Kronen erfolgten mit einem digitalen Farbmessgerät (Vita Easyshade, Vita; Abb.13) (Karamouzos et al. 2007, Wee et al. 2000, Lagouvardos et al. 2009) für jede Krone 20 Farbmessungen. Dabei wurde das Gerät im Ausgabemodus mit der Anzeigeeinstellung „Vita Classical“ betrieben. Der Farbwert mit der höchsten Bestimmungsfrequenz wurde für die jeweilige Krone als Referenzwert festgelegt (Tabelle 1, Seite 27).

Das Vita Easyshade Dental Spektrophotometer von der Firma Vita ist seit 2004 auf dem Dentalmarkt (Lehmann et al. 2010). Es besteht aus einer Lichtquelle (weiße Hochleistungs-LED), einer Vorrichtung, die das vom Objekt reflektierte Licht empfängt und einem Spektrometer (Vita Zahnfabrik 2011; Abb.13).

Das Gerät kann verwendet werden, um die Farbe verschiedener Bereiche eines Zahnes, entweder als Einzelpunktmessung, oder als 3-Punktmessung (Hals-, Mittel- und Schneidekante) zu bestimmen (Khurana et al. 2007). Die Messspitze muss bündig in dem Bereich der zu messenden Oberfläche dieser anliegen (Paravina et al. 2007; Abb.14, S.28).



Abbildung 13: Spektrophotometer Vita Easyshade

Bei diesem Gerät handelte es sich um ein punktwise messendes Spektrophotometer (Eggers et al. 2009) (Abb.15, S.28). In seiner Software enthält es die Zahnfarben der Vita Classical- und der 3D Master-Skalen (Kim-Pusateri et al. 2009, Karaagaciloglu et al. 2010). Vor der Durchführung von Messungen wurde das Gerät kalibriert.

Diese Kalibrierung erfolgte automatisch über die Basisstation des Gerätes, die an eine Stromquelle angeschlossen war. Das Gerät hat eine Wellenlänge von 400–700 nm, 6500K und einen Betrachterwinkel von 2° (Kourtis et al. 2009).

Tabelle 1: Ergebnisse der objektiven finalen Farbferenzwerte der hergestellten Kronen

Krone	n	Farbmessung mit Vita Classical & Vita Easyshade	Mittelwert	Krone	n	Farbmessung mit Vita Classical & Vita Easyshade	Mittelwert	Krone	n	Farbmessung mit Vita Classical & Vita Easyshade	Mittelwert	Krone	n	Farbmessung mit Vita Classical & Vita Easyshade	Mittelwert
1. Kunststoffkrone	1	B2	B2	2. Kunststoffkrone	1	A4	A4	3. Metall/Kunststoffkrone	1	B2	B2	4. Metall/Kunststoffkrone	1	A4	A4
	2	B2			2	A4			2	B2			2	A4	
	3	B2			3	A4			3	B2			3	A4	
	4	B2			4	A4			4	B2			4	A4	
	5	A2			5	B3			5	D1			5	C4	
	6	B2			6	A4			6	B2			6	A4	
	7	B2			7	B3			7	B2			7	B3	
	8	B3			8	A3,5			8	C2			8	A3,5	
	9	B2			9	A4			9	B2			9	A4	
	10	B2			10	A4			10	B2			10	A4	
	11	B2			11	A4			11	B2			11	A4	
	12	B2			12	A3,5			12	B2			12	C4	
	13	A3			13	A4			13	A3			13	A4	
	14	B2			14	A3,5			14	B2			14	A3,5	
	15	C2			15	A4			15	C2			15	A4	
	16	B2			16	A3,5			16	B2			16	A3,5	
	17	B2			17	A4			17	B2			17	A4	
	18	A2			18	A4			18	A2			18	A4	
	19	B2			19	B3			19	B2			19	B3	
	20	B2			20	A4			20	B2			20	A4	
5. Keramikkrone	1	B2	B2	6. Keramikkrone	1	A4	A4	7. Metall/Keramikkrone	1	D1	B2	8. Metall/Keramikkrone	1	A4	A4
	2	B2			2	A4			2	B2			2	A4	
	3	B2			3	A4			3	B2			3	A4	
	4	B2			4	A4			4	B2			4	A4	
	5	A2			5	A3,5			5	C2			5	C4	
	6	B2			6	A4			6	B2			6	A4	
	7	B2			7	B3			7	B2			7	B3	
	8	C2			8	A3,5			8	B3			8	A3,5	
	9	B2			9	A4			9	B2			9	A4	
	10	B2			10	A4			10	B2			10	A4	
	11	B2			11	A4			11	B2			11	A4	
	12	B2			12	C4			12	B2			12	A3,5	
	13	D1			13	A4			13	A3			13	A4	
	14	B2			14	A3,5			14	B2			14	A3,5	
	15	C2			15	A4			15	C2			15	A4	
	16	B2			16	A3,5			16	B2			16	A3,5	
	17	B2			17	A4			17	B2			17	A4	
	18	A2			18	A4			18	A2			18	A4	
	19	B2			19	C4			19	B2			19	C4	
	20	B2			20	A4			20	B2			20	A4	

Das Gerät verfügt über einen Speicher, der in der Lage ist, reproduzierbare Daten zu erfassen. So können 30 Messergebnisse in der Reihenfolge ihrer Aufzeichnung gespeichert werden.



Abbildung 14: Farbmessung mit dem digitalen Farbmessgerät Vita Easyshade

Wie schon Olms et al. (2009) herausfanden, können mit dem Vita Easyshade reproduzierbare Messdaten für zahnfarbene Keramiken, als auch für Kunststoffmaterialien bestimmt werden, ohne dass die Häufigkeit der Kalibrierung zwischen den Einzelmessungen eine wichtige Rolle spielt.



Abbildung 15: Initiale Bestimmung des Referenzfarbwertes mit dem Easyshade

### 3.3 Probandenauswahl

Im Rahmen dieser Untersuchung wurden einleitend 60 Probanden gewonnen. Dies erfolgte in Anlehnung an vergleichbaren Studien von Junker-Malcharek et al. (2002).

Farbfehlsichtige mussten im Vorfeld ausgeschlossen werden (Bratner et al. 2010) um standardisierte Bedingungen zu gewährleisten. Dazu wurde der Ishihara-Farbsehtest (Abb.1, Seite 2) durchgeführt. Dabei wurden jedem Probanden nacheinander zehn Farbtafeln vorgelegt. Hatte der Proband die Zahl mit der Tafel richtig erkannt, wurde das Ergebnis als positiv dokumentiert (Herting et al. 2007). Nur die Probanden die zehn positive Ergebnisse erzielten, wurden in die Studie eingeschlossen. Bei vier Probanden gab es negative Ergebnisse. Diese wurden von der Studie ausgeschlossen, sodass final 56 Probanden an der Studie teilnahmen.

In Anlehnung an vergleichbaren Studien von Faber et al. (1999) und Capa et al. (2010), teilten sich die Probanden in vier Gruppen (Abb.16). Die Probandengruppen der Zahnärzte, Zahntechniker und Studenten der Zahnmedizin des 9. Semesters (je  $n=14$ ) unterteilten sich jeweils in sieben Frauen und sieben Männer. In der Gruppe der Zahnarzhelferinnen ( $n=14$ ) konnten nur weibliche Probanden erfasst werden.

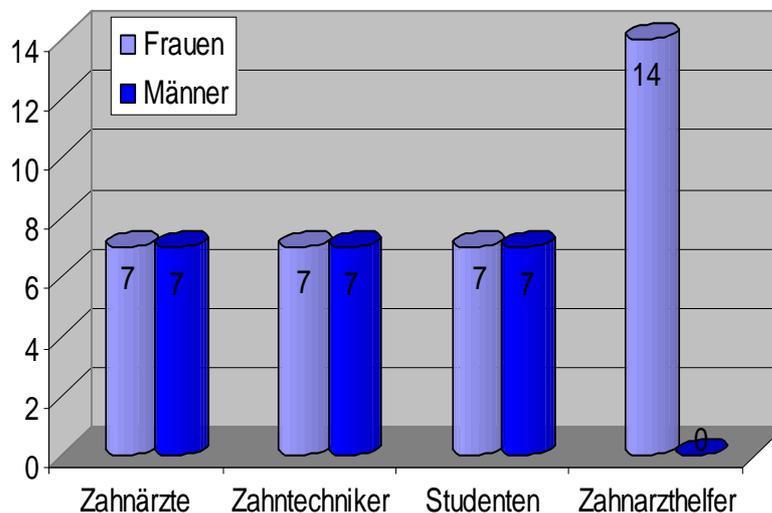


Abbildung 16: Geschlechterverteilung der Probanden

Bezogen auf das Alter teilte sich die Gruppe der Zahnärzte und der Zahnarzthelferinnen in sieben Probanden < 35 Jahre und sieben Probanden ≥ 35 Jahre auf (Abb.17).

In der Gruppe der Zahntechniker waren alle Probanden ≥ 35 Jahre und in der Gruppe der Studenten alle < 35 Jahre.

Das Durchschnittsalter der Zahnärzte lag bei 33,7 Jahren (männlich: 37,1 und weiblich: 30,3 Jahre).

Das Durchschnittsalter der Zahntechniker lag bei 49,5 Jahren (männlich: 48 und weiblich: 51 Jahre).

Das Durchschnittsalter der Zahnarzthelferinnen (weiblich) lag bei 33,5 Jahren.

Das Durchschnittsalter der Studenten lag bei 24,5 Jahren (männlich: 26 und weiblich: 23 Jahre).

Alle Probanden waren an der Martin-Luther-Universität in Halle-Wittenberg beschäftigt bzw. studierten an dieser.

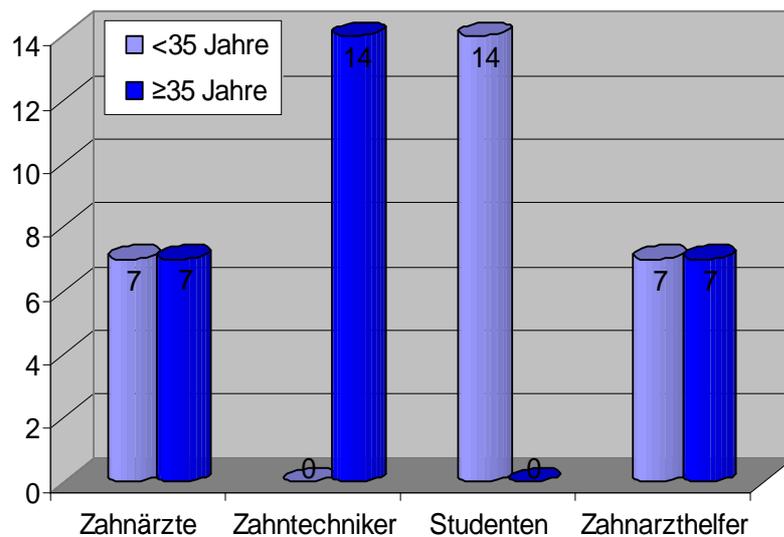


Abbildung 17: Altersverteilung der Probanden

### 3.4 Getestete LED-Lichtquelle

Die Nutzung des Dioden-Lichtsystems (LED), Optilume Trueshade LTD (Optident, likley, GB), bietet die Möglichkeit eine reproduzierbare Lichtqualität zu erzeugen (Abb.18). Somit kann man ein gleichbleibendes und reproduzierbares, naturnahes Tageslicht entsprechend dem Mittags-Sonnenlicht für die dentale Farbbestimmung nutzen (Oultram, 2007b).



Abbildung 18: getestete Lichtquelle (Optilume Trueshade, Optident)

Die künstliche Lichtquelle besitzt einen Durchblicktunnel mit einer zweifach vergrößernden Optik aus hochwertigem Spezialglas mit vielschichtiger Antireflexbeschichtung für eine exakte Farbwiedergabe (Abb.19, S. 32), bei dem die Leuchtdioden im 45°Winkel ausgerichtet sind (Bücking, 2006).



Abbildung 19: Blick durch die Lichtquelle

Dieses Gerät wird mit einer konstanten Farbtemperatur von 5500K automatisch kalibriert (Gerd Loser & Co GmbH 2006). So bietet es dem Benutzer jederzeit gleichbleibend neutrale Umgebungsbedingungen. Man bekommt die korrekte Farbtemperatur (5500K) im Abstand von 5 cm zum Arbeitsbereich (Abb.20).



Abbildung 20: Anwendung einer künstlichen Lichtquelle bei der klinischen Zahnfarbbestimmung

### **3.5 Zahnfarbbestimmung**

Die Messungen mit dem Vita Classical-Farbringsystem (Abb.6, Seite 17) (Kim-Pusateri et al. 2007) und dem Vitapan 3D Master Farbringsystemen (Bayindir et al. 2007, Abb.7, Seite 18) erfolgten zeitversetzt mit und ohne Nutzung der künstlichen Lichtquelle (Abb.19, Seite 32).

Die Farbbestimmung erfolgte für die Kronen an zwei verschiedenen Tagen unter zwei verschiedenen Lichtverhältnissen (Abb.21, 22, S.34).

Die erste Untersuchung wurde vormittags unter diffusem Nordlicht mit beiden Farbringsystemen durchgeführt. Die zweite Untersuchung erfolgte unter den gleichen Bedingungen an einem anderen Tag mit der künstlichen Lichtquelle (Corcodel et al. 2010b).

Vor Beginn der Farbbestimmungen wurde jeder Proband mit der Handhabung der zwei Farbringsysteme (Corciolani et al. 2009), sowie der künstlichen Lichtquelle vertraut gemacht.

Die Farbringsysteme wurden in Augenhöhe und Armlängenabstand an das Modell mit den zu bestimmten Kronen gehalten (Jahangiri et al. 2002). Ein Zeitlimit für die Zahnfarbbestimmung wurde nicht angegeben.

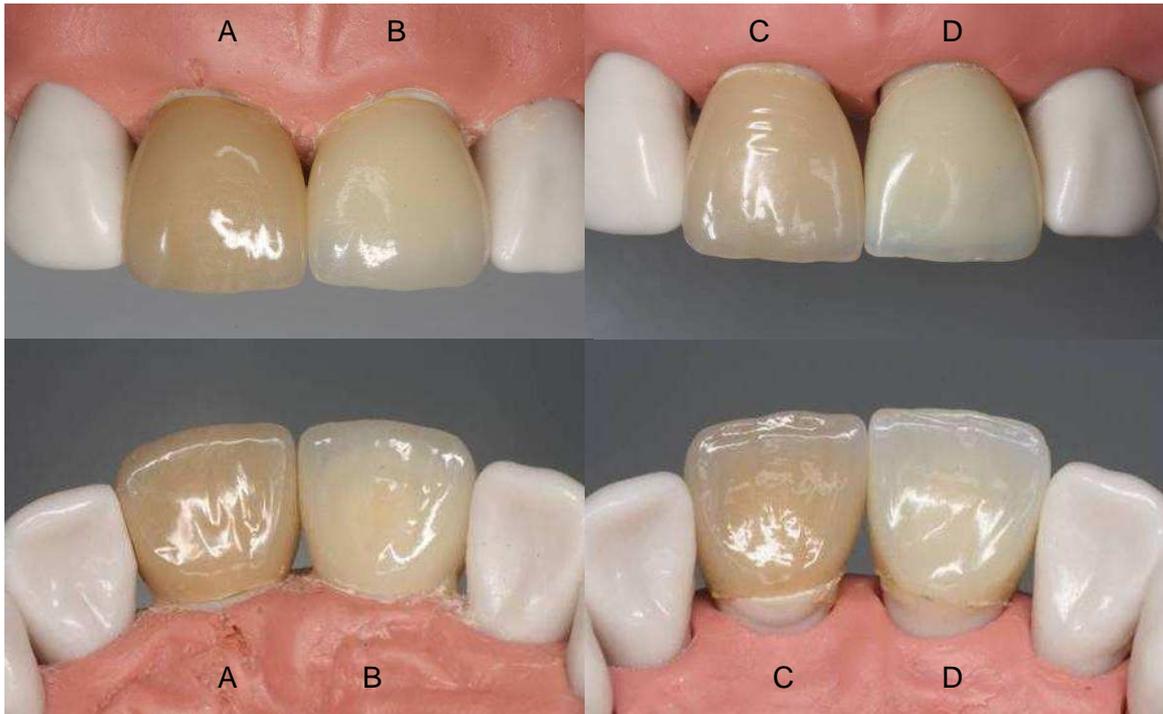


Abbildung 21: Die zementierten Kronen in der Ansicht von vestibulär und palatinal.

A: Ke-A4, B: Ku-B2, C: Ku-A4, D: Ke-B2

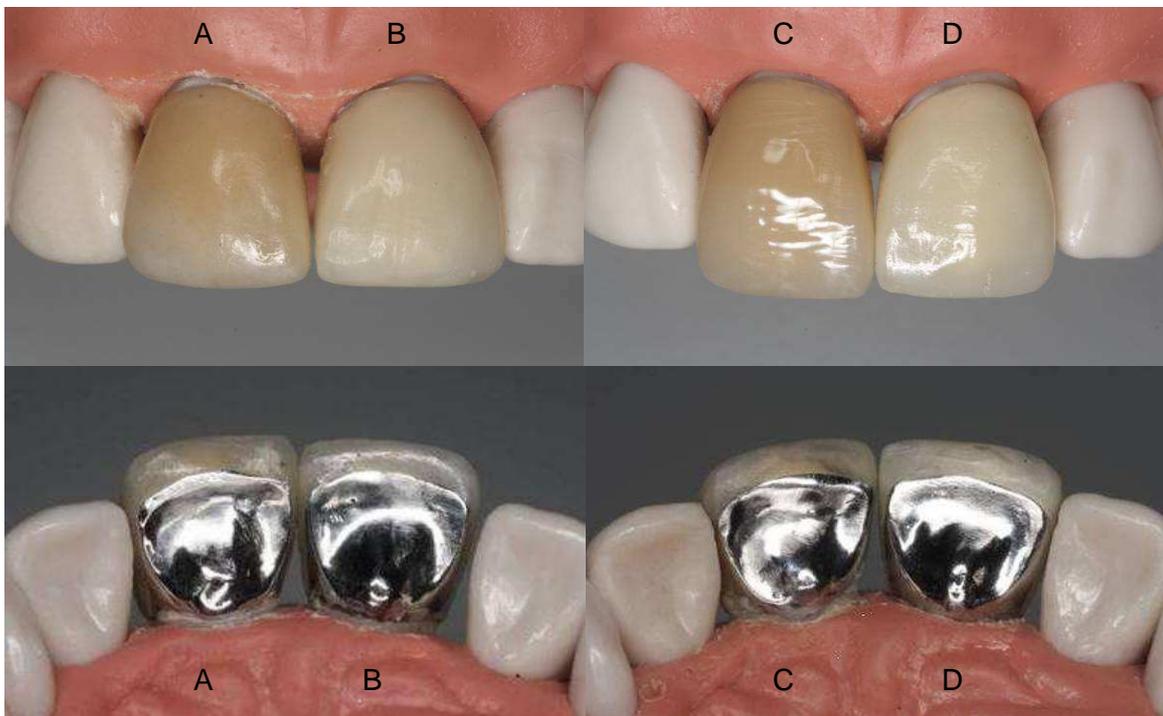


Abbildung 22: Die zementierten Kronen in der Ansicht von vestibulär und palatinal.

A: M/Ku A4, B: M/Ke B2, C: M/Ke A4, D: M/Ku B2

### 3.6 Statistische Auswertung der Ergebnisse

Die Messungen wurden als positiv bewertet, wenn die Zahnfarbe einer Krone entsprechend der vorhandenen Farbringe durch den Probanden richtig bestimmt wurde. Die Untersuchungsergebnisse wurden in Tabellen zusammengefasst. Die Häufigkeit wurde per Handauszählung ermittelt. Die Ergebnisse wurden durch eine deskriptive Analyse für die verschiedenen Altersgruppen, die Berufsgruppen und deren Geschlecht erfasst. Die Häufigkeit der Zahnfarbbestimmungen unter den jeweiligen Lichtbedingungen wurde einer statistischen Bewertung unterzogen. Die Prüfung des Signifikanzniveaus erfolgte mittels der Varianzanalyse nach Bonferroni und nicht parametrischen Tests (Chi-Quadrat-Test, T-Test und McNemar-Test).

Der T-Test wird zum Bestätigen von Hypothesen über Erwartungswerte einer oder zweier Stichproben aus normalverteilten Grundgesamtheiten mit unbekannter Standardabweichung verwendet. Die Normalverteilungsannahme wurde mit dem Kolmogorow-Smirnow-Test (nichtparametrischer Test) geprüft.

Der McNemar-Test ist ein statistischer Test für verbundene Stichproben, das heißt ein Vorher-Nachher-Vergleich.

Mit dem Chi-Quadrat-Test werden Verteilungseigenschaften einer statistischen Grundgesamtheit untersucht. Der Chi-Quadrat-Test ist ein Maß für die statistische Abhängigkeit.

Zur Prüfung der Nullhypothese wurde ein Testniveau von 0,05 (5%) festgelegt. Wenn das errechnete Signifikanzniveau kleiner als das vorgegebene Testniveau ist, wird die Nullhypothese ablehnt. Dies bedeutet, dass die Abhängigkeit der beiden Variablen statistisch signifikant gesichert ist. Die Ergebnisse wurden in signifikant ( $p < 0,05$ ), hoch signifikant ( $p < 0,01$ ) und nicht signifikant ( $p > 0,05$ ) differenziert. Die Analyse erfolgte mit dem Statistikprogramm SPSS Version 17.0 (IBM Corporation, Armonk New York, USA) für Windows (Microsoft Corporation, Redmond, USA). Nach der Zusammenfassung der Ergebnisse wurden Diagramme mit Hilfe von Microsoft Office Excel (Microsoft Corporation, Redmond, USA) erzeugt, um sie visuell und graphisch darzustellen.

## 4 Untersuchungsergebnisse

### 4.1 Ergebnisse aller Probanden

Es wurden zunächst ohne Aufschlüsselung der Einzelgruppenzugehörigkeit bezogen auf alle 56 Versuchsteilnehmer die durchschnittlichen prozentualen Werte ermittelt, die bei Unterscheidung nach den Farbringssystemen erreicht wurden. Bei der Farbbestimmung ohne künstliche Lichtquelle (OT) bestimmten 48,9% aller Probanden die Farben korrekt. Bei den Farbbestimmungen mit Lichtquelle fanden 57,3% aller Probanden die jeweils richtigen Zahnfarben. Die Gesamtverbesserung der Bestimmungsqualität durch den Einsatz der Lichtquelle war hoch signifikant ( $p < 0,01$ ). Die geschlechtsspezifischen Differenzen waren nicht signifikant ( $p > 0,05$ ). Bei den altersspezifischen Differenzen konnte eine Signifikanz ermittelt werden ( $p < 0,05$ ) (Abb.23).

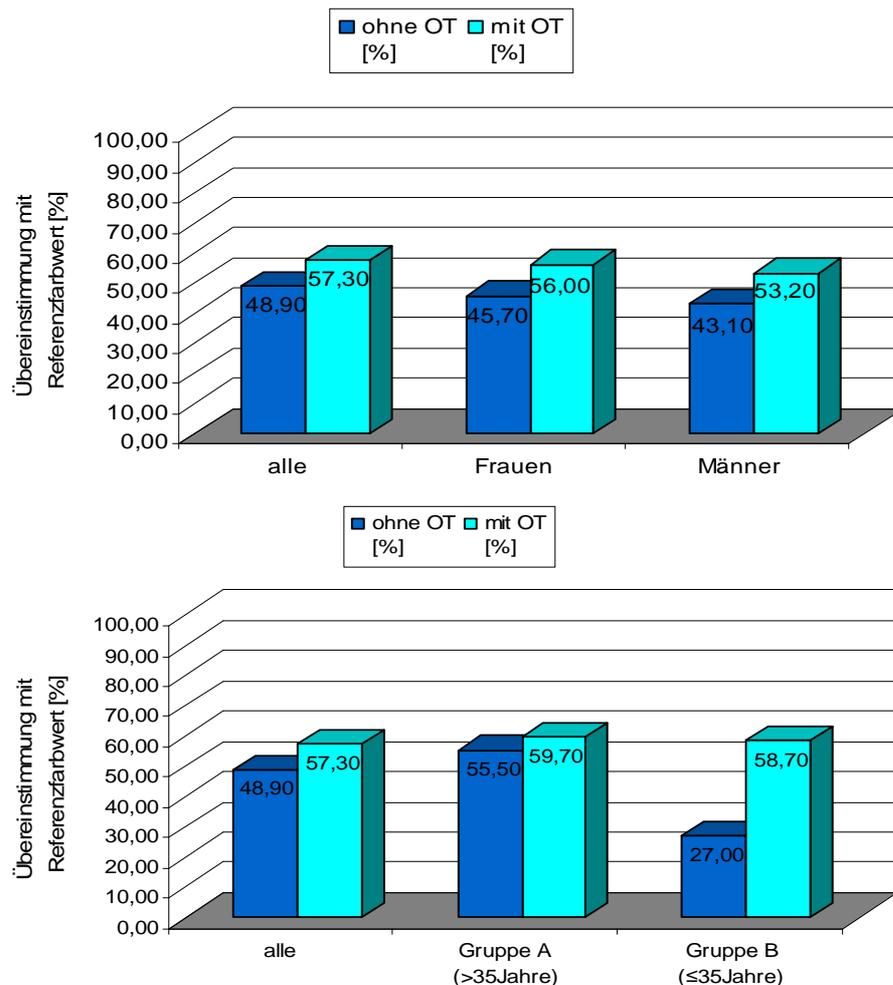


Abbildung 23: Ergebnisse aller Probanden ohne und mit künstlicher Lichtquelle

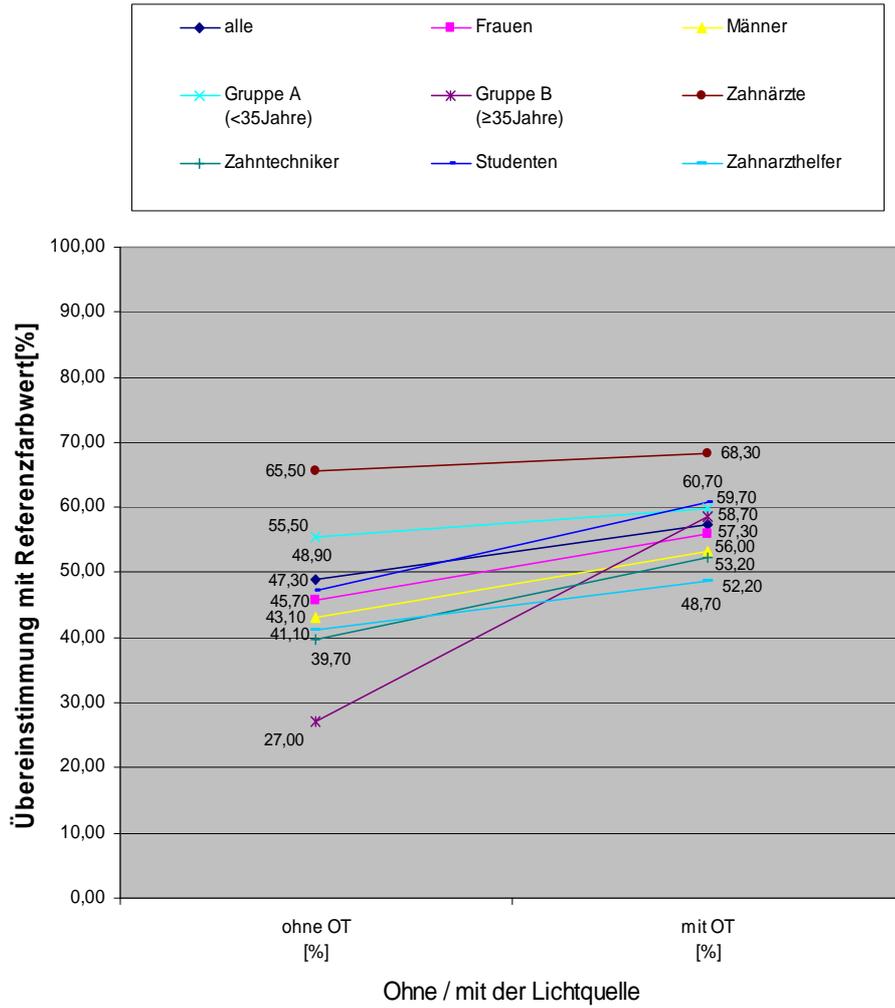


Abbildung 24: Grafische Darstellung der Ergebnisse aller Probanden ohne und mit künstlicher Lichtquelle

Wie in Abbildung 24 ersichtlich, konnte bei der Altersgruppe B ( $\geq 35$  Jahre) ein signifikanter Unterschied im Vergleich der Zahnfarbbestimmung mit und ohne der Nutzung der Lichtquelle ermittelt werden. Die Veränderungen durch die Nutzung der Lichtquelle aller anderen Gruppen waren nicht signifikant.

#### 4.2 Ergebnisse in Abhängigkeit vom Geschlecht der Probanden

Mit Hilfe des Chi-Quadrat-Tests wurde aufgezeigt, wie häufig männliche und weibliche Probanden die richtige Zahnfarbe bestimmten. Die geschlechtsspezifischen Unterschiede insgesamt waren nicht signifikant ( $p=0,367$ ). Bei den Frauen fanden ohne die Lichtquelle 45,7% die richtige Zahnfarbe und 56,0% mit Hilfe der Lichtquelle. Die Männer detektierten zu 43,1% ohne und 53,2% mit der Lichtquelle den genauen Referenzfarbwert.

Wie in Tabelle 2 und Abbildung 25 (Seite 39) ersichtlich, konnte kein signifikanter Unterschied im Vergleich der Zahnfarbbestimmung mit Vita Classical (VC) durch die Frauen zu den Männern ermittelt werden.

Tabelle 2: Abhängigkeit der positiven Ergebnisse vom Geschlecht der Probanden bei der Bestimmung mit Vita Classical-Farbring(VC)

Kronenmaterial	Geschlecht	VC ohne OT [%]	Signifikanz [p]	VC mit OT [%]	Signifikanz [p]
Kunststoffkrone A4	Frauen	71,4	0,150	74,3	0,873
	Männer	52,4		76,2	
Kunststoffkrone B2	Frauen	60,0	0,367	71,4	0,150
	Männer	47,6		52,4	
Keramikkrone A4	Frauen	57,1	0,489	68,6	0,541
	Männer	47,6		76,2	
Keramikkrone B2	Frauen	60,0	0,833	65,7	0,773
	Männer	57,1		61,9	
M / Kunststoff A4	Frauen	20,0	0,931	28,6	1,000
	Männer	19,0		28,6	
M / Kunststoff B2	Frauen	34,3	0,183	45,7	0,890
	Männer	52,4		47,6	
M / Keramik A4	Frauen	57,1	0,220	54,3	0,061
	Männer	47,6		28,6	
M / Keramik B2	Frauen	34,3	0,521	57,1	0,084
	Männer	42,9		76,2	

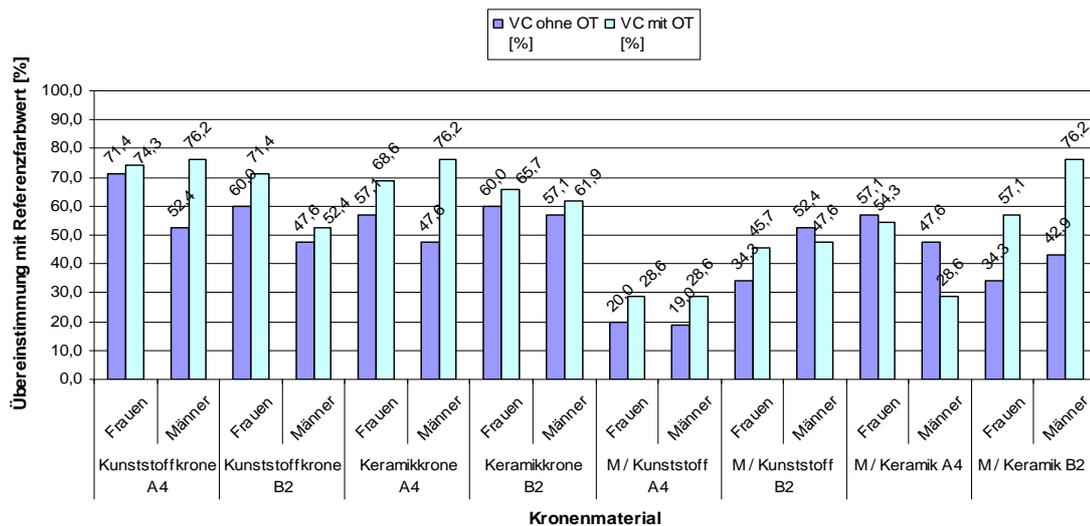


Abbildung 25: Grafische Darstellung der Abhängigkeit der positiven Ergebnisse vom Geschlecht der Probanden bei der Bestimmung mit Vita Classical-Farbring (VC)

Wie in Tabelle 3 und Abbildung 26 (Seite 40) ersichtlich, konnte kein signifikanter Unterschied im Vergleich der Zahnfarbbestimmung mit Vita 3D-Master (V3D) durch die Frauen zu den Männern ermittelt werden.

Tabelle 3: Abhängigkeit der positiven Ergebnisse vom Geschlecht der Probanden bei der Bestimmung mit Vita 3D-Master-Farbring (V3D)

Kronenmaterial	Geschlecht	V3D ohne OT [%]	Signifikanz [p]	V3D mit OT [%]	Signifikanz [%]
Kunststoffkrone A4	Frauen	82,9	0,080	80,0	0,737
	Männer	61,9		76,2	
Kunststoffkrone B2	Frauen	62,9	0,265	68,6	0,388
	Männer	47,6		57,1	
Keramikkrone A4	Frauen	68,6	0,822	74,3	0,140
	Männer	71,4		90,5	
Keramikkrone B2	Frauen	45,7	0,629	48,6	0,945
	Männer	52,4		47,6	
M / Kunststoff A4	Frauen	31,4	0,226	37,1	0,072
	Männer	47,6		61,9	
M / Kunststoff B2	Frauen	42,9	0,489	40,0	0,213
	Männer	52,4		57,1	
M / Keramik A4	Frauen	34,3	0,521	40,0	0,367
	Männer	42,9		52,4	
M / Keramik B2	Frauen	40,0	0,053	42,9	0,084
	Männer	66,7		66,7	

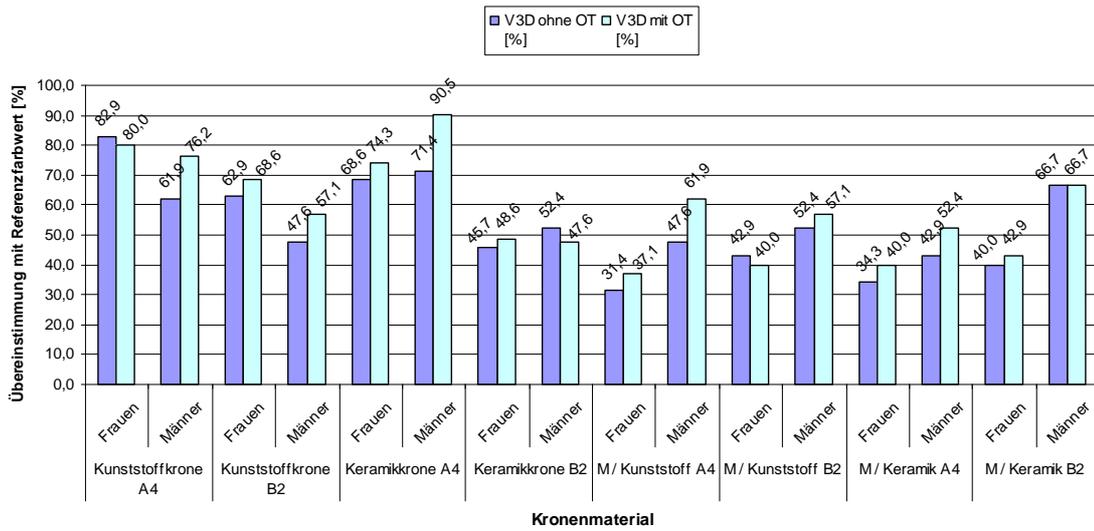


Abbildung 26: Grafische Darstellung der Abhängigkeit der positiven Ergebnisse vom Geschlecht der Probanden bei der Bestimmung mit Vita 3D-Master-Farbring (V3D)

### 4.3 Ergebnisse in Abhängigkeit vom Alter der Probanden

Zur Überprüfung der Hypothese, dass das Alter eine bedeutende Rolle bei der Zahnfarbbestimmung spielt, wurde der T-Test verwendet. Die Normalverteilungsannahme wurde mit dem Kolmogorow-Smirnow-Test (nichtparametrischer Test) geprüft.

Zwischen den Altersgruppen < 35 Jahre (Gruppe A) und ≥ 35 Jahre (Gruppe B) gab es insgesamt signifikante Unterschiede. Gruppe A erzielte mit 55,5% ohne Lichtquelle und mit 59,7% mit Lichtquelle. Gruppe B lag erzielte mit 27% ohne und mit 58,7% mit Lichtquelle positive Ergebnisse.

Wie in Tabelle 4 und Abbildung 27 (Seite 42) zu sehen, gab es bei der Zahnfarbbestimmung mit Vita Classical (VC) nur eine signifikante Abweichung in Abhängigkeit vom Alter. Die Metall/Keramikkrone B2 wurde mit Lichtquelle von den Probanden der Altersgruppe < 35 Jahre (Gruppe A) zu 42,9% und von denen der Altersgruppe ≥ 35 Jahre (Gruppe B) zu 77,1% richtig erkannt (p=0,01). Alle anderen paarweisen Vergleiche in Abhängigkeit vom Alter waren nicht signifikant.

Tabelle 4: Abhängigkeit der positiven Ergebnisse vom Alter der Probanden bei der Bestimmung mit Vita Classical-Farbring (VC)

Kronenmaterial	Alter ZH	VC ohne OT [%]	Signifikanz [p]	VC mit OT [%]	Signifikanz [p]
Kunststoffkrone A4	<35Jahre	71,4	0,388	85,7	0,151
	≥35Jahre	60,0		68,6	
Kunststoffkrone B2	<35Jahre	57,1	0,835	61,9	0,773
	≥35Jahre	54,3		65,7	
Keramikkrone A4	<35Jahre	57,1	0,678	81,0	0,222
	≥35Jahre	51,4		65,7	
Keramikkrone B2	<35Jahre	52,4	0,440	71,4	0,388
	≥35Jahre	62,9		60,0	
M / Kunststoff A4	<35Jahre	9,5	0,140	19,0	0,222
	≥35Jahre	25,7		34,3	
M / Kunststoff B2	<35Jahre	38,1	0,726	38,1	0,333
	≥35Jahre	42,9		51,4	
M / Keramik A4	<35Jahre	23,8	0,935	38,1	0,445
	≥35Jahre	22,9		48,6	
M / Keramik B2	<35Jahre	28,6	0,285	42,9	0,010
	≥35Jahre	42,9		77,1	

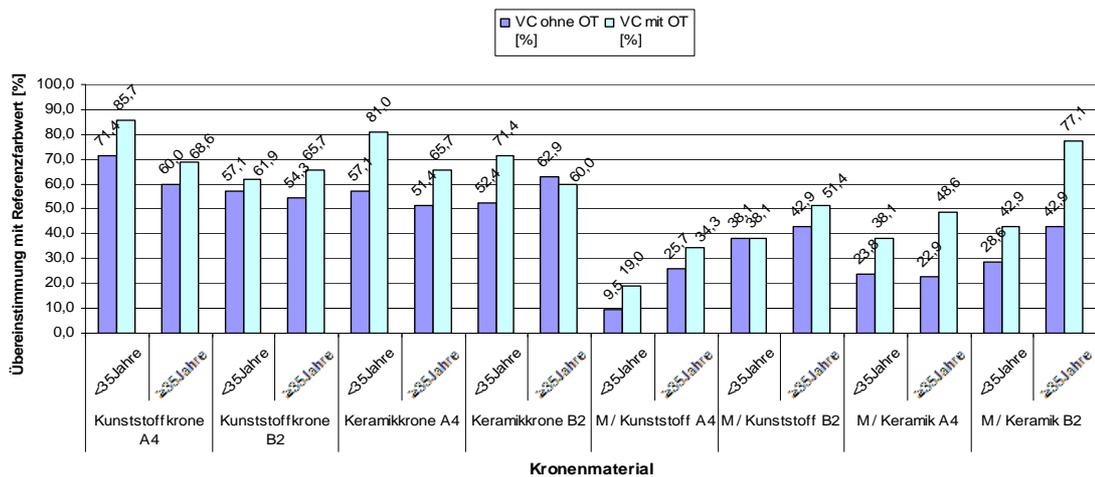


Abbildung 27: Grafische Darstellung der Abhängigkeit der positiven Ergebnisse vom Alter der Probanden bei der Bestimmung mit Vita Classical-Farbring (VC)

Wie in Tabelle 5 und Abbildung 28 (Seite 43) zu sehen, gab es bei der Zahnfarbbestimmung mit Vita 3D-Master (V3D) ebenfalls nur eine signifikante Abweichung in Abhängigkeit vom Alter. Die Keramikkrone B2 wurde mit Lichtquelle von den Probanden der Altersgruppe < 35 Jahre (Gruppe A) zu 66,7% und von denen der Altersgruppe ≥ 35 Jahre (Gruppe B) zu 37,1% richtig erkannt (p=0,032). Alle anderen paarweisen Vergleiche in Abhängigkeit vom Alter mit Vita 3D-Master waren nicht signifikant.

Tabelle 5: Abhängigkeit der positiven Ergebnisse vom Alter der Probanden bei der Bestimmung mit Vita 3D-Master-Farbring (V3D)

Kronenmaterial	Alter ZH	V3D ohne OT [%]	Signifikanz [p]	V3D mit OT [%]	Signifikanz [p]
Kunststoffkrone A4	<35Jahre	76,2	0,873	76,2	0,737
	≥35Jahre	74,3		80,0	
Kunststoffkrone B2	<35Jahre	57,1	1,000	66,7	0,773
	≥35Jahre	57,1		62,9	
Keramikkrone A4	<35Jahre	66,7	0,708	76,2	0,543
	≥35Jahre	71,4		82,9	
Keramikkrone B2	<35Jahre	61,9	0,112	66,7	0,032
	≥35Jahre	40,0		37,1	
M / Kunststoff A4	<35Jahre	23,8	0,061	38,1	0,333
	≥35Jahre	45,7		51,4	
M / Kunststoff B2	<35Jahre	42,9	0,678	47,6	0,890
	≥35Jahre	48,6		45,7	
M / Keramik A4	<35Jahre	28,6	0,285	42,9	0,835
	≥35Jahre	42,9		45,7	
M / Keramik B2	<35Jahre	47,6	0,783	57,1	0,534
	≥35Jahre	51,4		48,6	

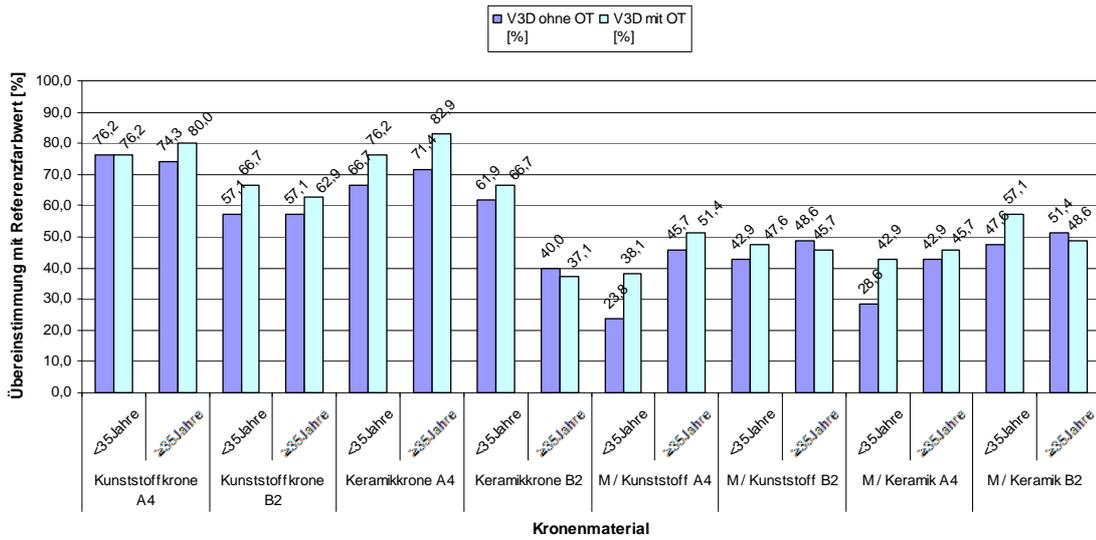


Abbildung 28: Grafische Darstellung der Abhängigkeit der positiven Ergebnisse vom Alter der Probanden bei der Bestimmung mit Vita 3D-Master-Farbring(V3D)

#### 4.4 Ergebnisse in Abhängigkeit von der Berufsgruppe der Probanden

Der T-Test wurde auch bei der Auswertung nach Berufsgruppen eingesetzt, um die verschiedenen Signifikanzwerte zwischen den Gruppen zu überprüfen (Abb.29). Die meisten Übereinstimmungen hatten bei beiden Farbringssystemen (Vita Classical und Vitapan 3D-Master) die Zahnärzte sowohl ohne als auch mit Lichtquelle (insgesamt Verbesserung um 1,8%). Bei den Zahnarzthelfern stiegen die positiven Werte mit der Lichtquelle um insgesamt 7,5%. Zu Verbesserungen kam es auch bei den Studenten durch den Einsatz der Lichtquelle um 13,4%. Zuletzt hatte auch die Gruppe der Zahntechniker eine Verbesserung der positiven Ergebnisse um 12,5% mit der Lichtquelle zu verzeichnen.

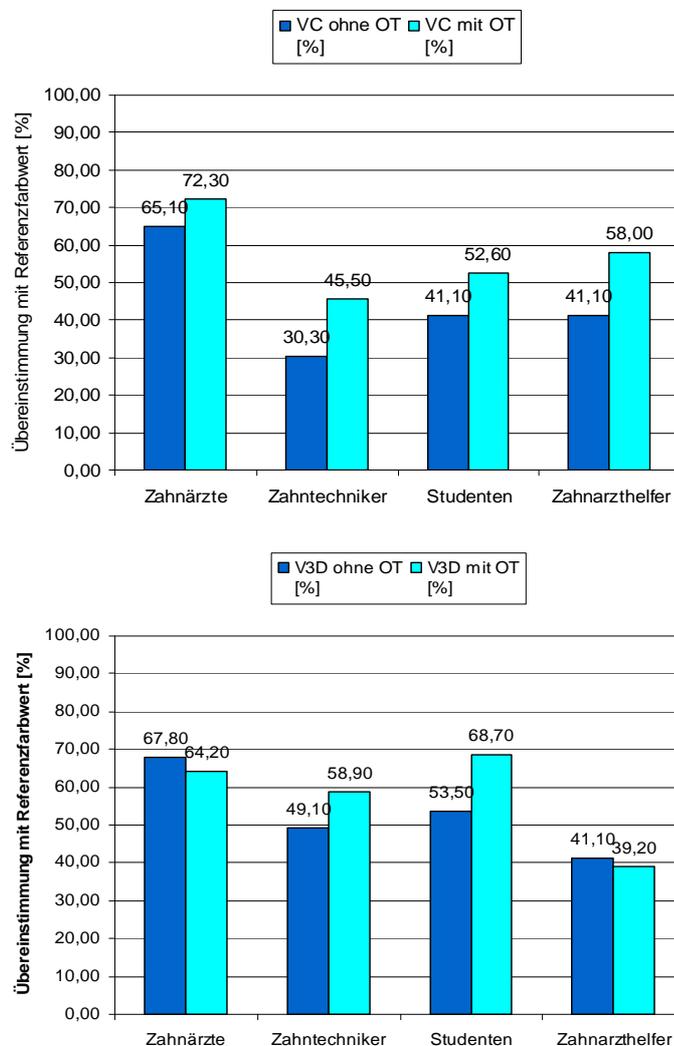


Abbildung 29: Grafische Darstellung der Übereinstimmung mit Referenzfarbwert der Berufsgruppen mit Vita Classical- und Vitapan 3D-Master-Farbring ohne und mit der Nutzung der Lichtquelle

Bei den Zahnärzten gab es keine signifikanten Unterschiede beim Vergleich der Bestimmung mit und ohne Lichtquelle. Die galt sowohl für Vita Classical als auch für die Vita 3D Master Farbskala.

Mittels einer Varianzanalyse nach Bonferroni (zur Abschätzung der Wahrscheinlichkeit des Durchschnitts) zeigten sich signifikante Unterschiede in den Darstellungen (Tab.6). Der Unterschied zwischen den Zahnärzten und Zahntechniker /Zahnarzthelferinnen / Studenten ohne Nutzung der Lichtquelle waren signifikant ( $p < 0,05$ ). Mit Einsatz der Lichtquelle gab es signifikante Unterschiede zwischen den Zahnärzten und den Zahntechnikern ( $p < 0,05$ ). Die Abweichungen zwischen den Zahntechnikern und jeweils den Studenten/Zahnarzthelferinnen waren nicht signifikant ( $p = 1,0$ ).

Tabelle 6: Übereinstimmungen mit Referenzfarbwert bei den verschiedenen Berufsgruppen mit Vita Classical- und Vitapan 3D-Master-Farbring ohne und mit Nutzung der Lichtquelle

Berufsgruppen	Berufsgruppen	VC ohne OT Signifikanz [p]	VC mit OT Signifikanz [p]	V3D ohne OT Signifikanz [p]	V3D mit OT Signifikanz [p]
Zahnärzte	Zahntechniker	0,000	0,009	0,038	1,000
	Studenten	0,029	0,104	0,143	1,000
	Zahnarzthelfer	0,029	0,599	0,001	0,001
Zahntechniker	Zahnärzte	0,000	0,009	0,038	1,000
	Studenten	1,000	1,000	1,000	0,660
	Zahnarzthelfer	1,000	0,599	1,000	0,012
Studenten	Zahnärzte	0,029	0,104	0,143	1,000
	Zahntechniker	1,000	1,000	1,000	0,660
	Zahnarzthelfer	1,000	1,000	0,457	0,000
Zahnarzthelfer	Zahnärzte	0,029	0,599	0,001	0,001
	Zahntechniker	1,000	0,599	1,000	0,012
	Studenten	1,000	1,000	0,457	0,000

### 4.5 Ergebnisse in Abhängigkeit vom Kronenmaterial

Mit dem McNemar Test (Vorher-Nachher Test) wurde überprüft, ob Signifikanzen in Bezug auf die Kronenmaterialien bei dem Vergleich der Farbbestimmung ohne und mit Lichtquelle bestehen. Wie in Abbildung 30 ersichtlich, fanden die Zahnärzte mit dem Vita Classical Farbring die meisten Übereinstimmungen bei der Kunststoffkrone A4 und B2, die Zahnarzthelferinnen bei der Kunststoffkrone A4. Die wenigsten korrekten Übereinstimmungen ermittelten die Studenten bei der Metall/Kunststoffkrone A4.

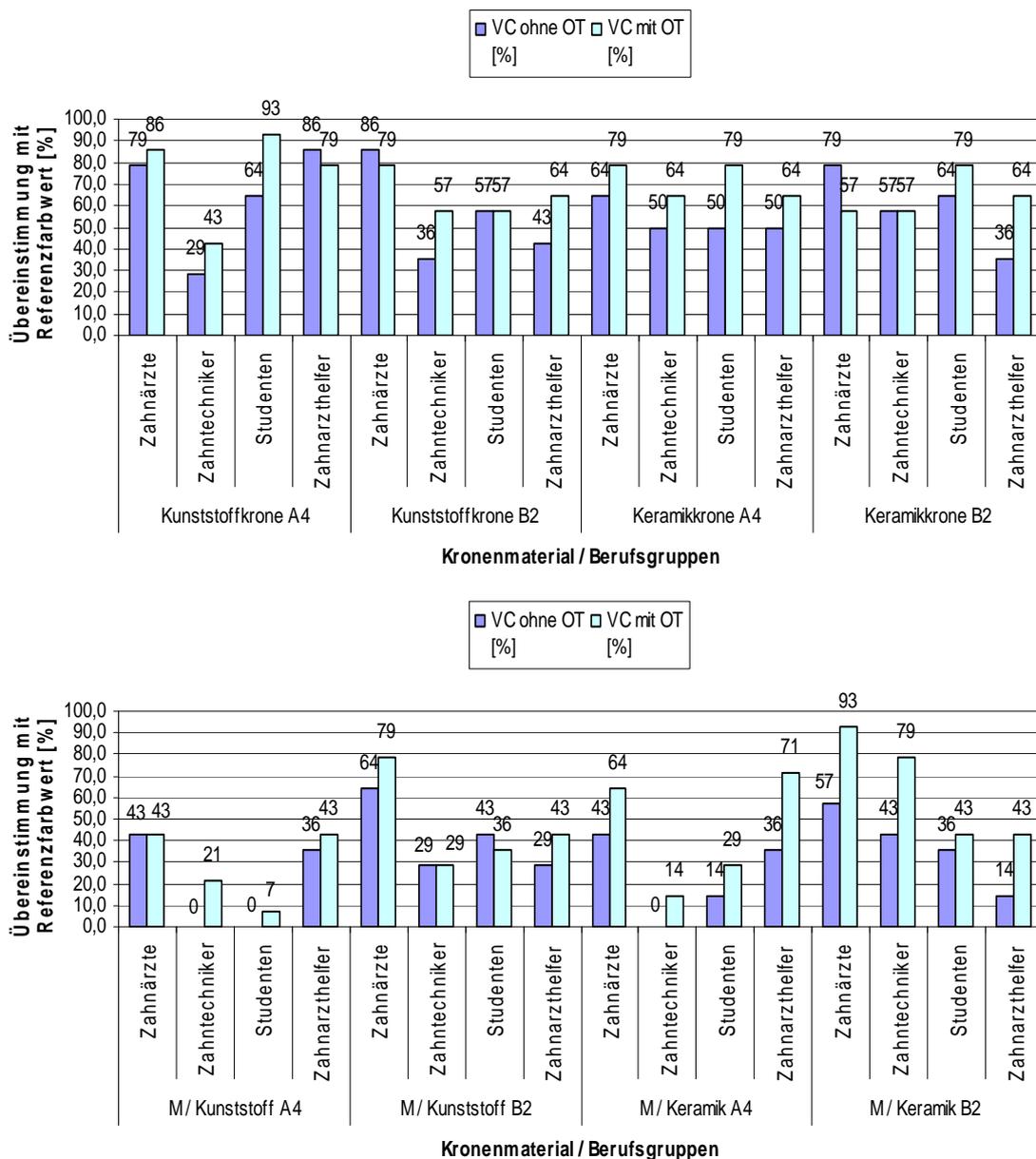


Abbildung 30: Grafische Darstellung der Abhängigkeit der positiven Ergebnisse vom Beruf der Probanden sowie des Kronenmaterials bei der Bestimmung mit Vita Classical-Farbring (VC)

Es gab keine signifikanten Unterschiede (Tab.7) mit dem Vita Classical Farbring im Bezug auf Testung mit/ohne Lichtquelle bei den Kunststoffkronen (A4,  $p=0,146$ ; B2,  $p=0,267$ ), der Keramikkrone B2 ( $p=0,581$ ) und Metallkrone mit Kunststoffverblendung (A4,  $p=0,227$ ; B2,  $p=0,607$ ). Im Gegensatz dazu finden sich bei den Keramikkronen A4 ( $p=0,002$ ) und den Metallkronen mit Keramikverblendung (A4,  $p=0,012$ ; B2,  $p=0,000$ ) signifikante Unterschiede.

Tabelle 7: Übereinstimmung mit Referenzfarbwert bei den Berufsgruppen bei Testung mit Farbring Vita Classical ohne / mit Lichtquelle

Kronenmaterial	Berufsgruppen	VC ohne OT [%]	Signifikanz [p]	VC mit OT [%]	Signifikanz [p]
Kunststoffkrone A4	Zahnärzte	78,6	0,008	85,7	0,011
	Zahntechniker	28,6		42,9	
	Studenten	64,3		92,9	
	Zahnarzthelfer	85,7		78,6	
Kunststoffkrone B2	Zahnärzte	85,7	0,040	78,6	0,601
	Zahntechniker	35,7		57,1	
	Studenten	57,1		57,1	
	Zahnarzthelfer	42,9		64,3	
Keramikkrone A4	Zahnärzte	64,3	0,835	78,6	0,706
	Zahntechniker	50,0		64,3	
	Studenten	50,0		78,6	
	Zahnarzthelfer	50,0		64,3	
Keramikkrone B2	Zahnärzte	78,6	0,137	57,1	0,601
	Zahntechniker	57,1		57,1	
	Studenten	64,3		78,6	
	Zahnarzthelfer	35,7		64,3	
M / Kunststoff A4	Zahnärzte	42,9	0,003	42,9	0,098
	Zahntechniker	0,0		21,4	
	Studenten	0,0		7,1	
	Zahnarzthelfer	35,7		42,9	
M / Kunststoff B2	Zahnärzte	64,3	0,176	78,6	0,040
	Zahntechniker	28,6		28,6	
	Studenten	42,9		35,7	
	Zahnarzthelfer	28,6		42,9	
M / Keramik A4	Zahnärzte	42,9	0,028	64,3	0,005
	Zahntechniker	0,0		14,3	
	Studenten	14,3		28,6	
	Zahnarzthelfer	35,7		71,4	
M / Keramik B2	Zahnärzte	57,1	0,126	92,9	0,008
	Zahntechniker	42,9		78,6	
	Studenten	35,7		42,9	
	Zahnarzthelfer	14,3		42,9	

Hinsichtlich der Testung mit dem Farbring Vita 3D-Master (Tab.8) mit/ohne Lichtquelle gab es keine signifikanten Unterschiede bei den Kunststoffkronen (A4,  $p=0,727$ ; B2,  $p=0,481$ ), Keramikkrone (A4,  $p=1,0$ ; B2,  $p=0,180$ ), den Metallkronen mit Kunststoffverblendung (A4,  $p=0,302$ ; B2,  $p=1,0$ ) und den Metallkronen mit Keramikverblendung (A4,  $p=0,503$ ; B2,  $p=1,0$ ).

Tabelle 8: Übereinstimmung mit Referenzfarbwert bei den Berufsgruppen mit Testung vom Farbring Vitapan 3D-Master ohne / mit Lichtquelle

Kronenmaterial	Berufsgruppen	V3D ohne OT [%]	Signifikanz [p]	V3D mit OT [%]	Signifikanz [p]
Kunststoffkrone A4	Zahnärzte	85,7	0,592	78,6	0,115
	Zahntechniker	71,4		92,9	
	Studenten	78,6		85,7	
	Zahnarzthelfer	64,3		57,1	
Kunststoffkrone B2	Zahnärzte	85,7	0,072	71,4	0,226
	Zahntechniker	42,9		64,3	
	Studenten	57,1		78,6	
	Zahnarzthelfer	42,9		42,9	
Keramikkrone A4	Zahnärzte	78,6	0,304	85,7	0,742
	Zahntechniker	78,6		85,7	
	Studenten	50,0		71,4	
	Zahnarzthelfer	71,4		78,6	
Keramikkrone B2	Zahnärzte	42,9	0,475	42,9	0,000
	Zahntechniker	35,7		42,9	
	Studenten	64,3		92,9	
	Zahnarzthelfer	50,0		14,3	
M / Kunststoff A4	Zahnärzte	64,3	0,097	57,1	0,697
	Zahntechniker	35,7		50,0	
	Studenten	21,4		42,9	
	Zahnarzthelfer	28,6		35,7	
M / Kunststoff B2	Zahnärzte	57,1	0,181	57,1	0,460
	Zahntechniker	50,0		50,0	
	Studenten	57,1		50,0	
	Zahnarzthelfer	21,4		28,6	
M / Keramik A4	Zahnärzte	78,6	0,003	57,1	0,470
	Zahntechniker	21,4		28,6	
	Studenten	28,6		50,0	
	Zahnarzthelfer	21,4		42,9	
M / Keramik B2	Zahnärzte	57,1	0,099	57,1	0,007
	Zahntechniker	57,1		57,1	
	Studenten	64,3		78,6	
	Zahnarzthelfer	21,4		14,3	

Wie in Abbildung 31 ersichtlich, fanden die Zahnärzte mit dem Vita 3D-Master Farbring die meisten Übereinstimmungen bei der Kunststoffkrone A4 und der Keramikkrone A4, die Studenten bei der Kunststoffkrone A4 und die Zahntechniker bei der Keramikkrone A4. Die wenigsten korrekten Übereinstimmungen ermittelten die Zahnärzthelferinnen bei Metall/Keramikkrone B2.

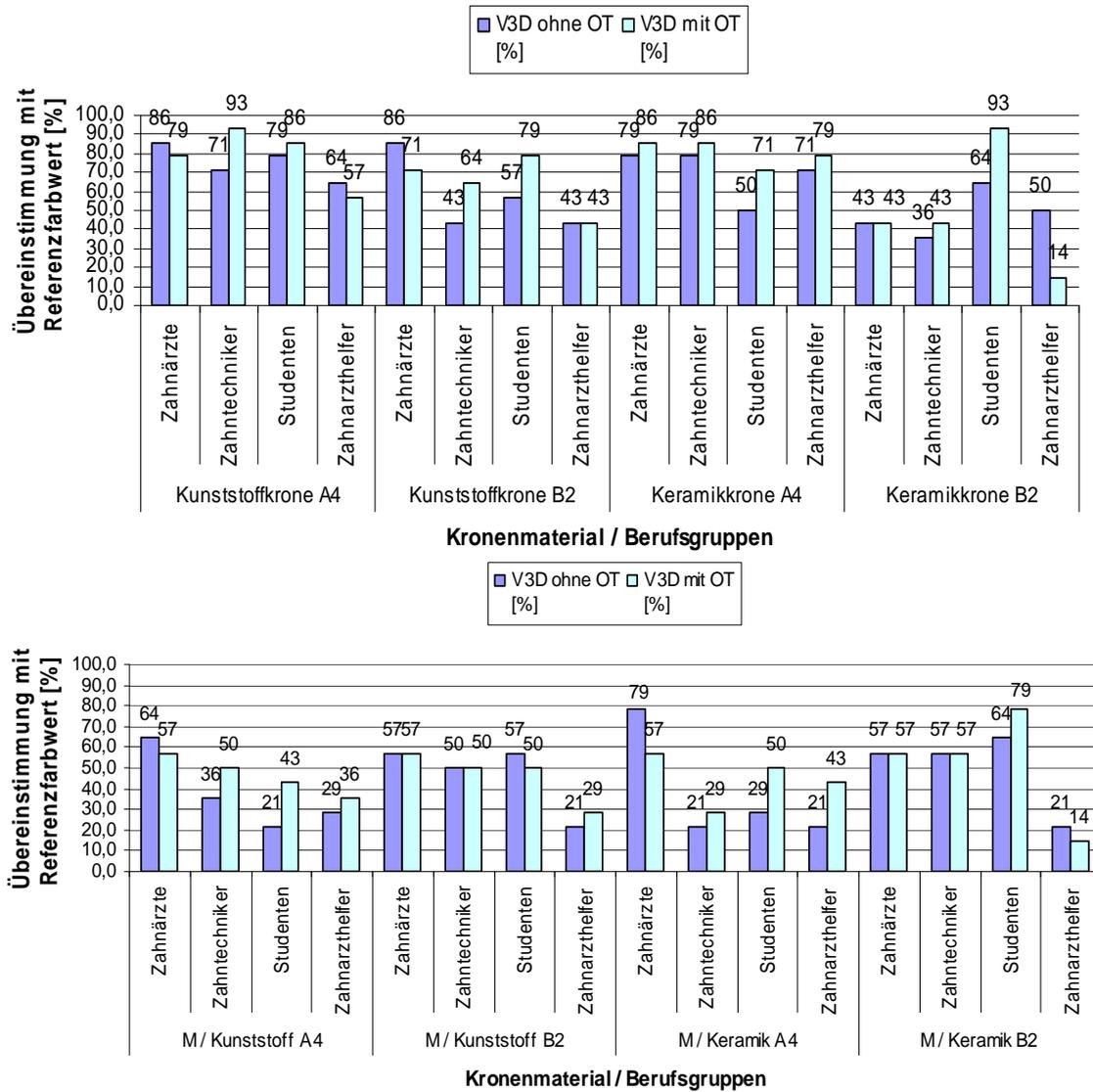


Abbildung 31: Übereinstimmung mit Referenzfarbwert aller Berufsgruppen und aller Kronen getrennt - mit dem Vitapan 3D-Master-Farbring

## **5 Diskussion**

### **5.1 Diskussion der Methodik**

#### **5.1.1 Herstellung der Kronen**

Aufgrund des dieser Studie zugrunde gelegten standardisierten Prüfprotokolls wurden unterschiedliche Verblendmaterialien für festsitzenden Zahnersatz untersucht. Da, wie Vorversuche zeigten, eine vergleichbare Standardisierung der Farbe von natürlichen, z.B. extrahierten menschlichen Zähnen nicht reproduzierbar durchzuführen ist, wurde auf entsprechende Messungen an nativer Zahnschubstanz bewusst verzichtet.

Für die Durchführung dieser Versuche wurden auf vier Oberkiefermodellen die Kunststoffzähne 11 und 21 präpariert und jeweils zwei Kronen aus unterschiedlichen Materialien hergestellt. Jede Kronenmaterialgruppe wurde in den Zahnfarben A4 und B2 verblendet (Vita Classical; Abb.11, 12, S.25). Die Zahnfarben wurden so gewählt, dass ein erkennbarer Unterschied ersichtlich war, um zwei verschiedene Farbtöne zu bestimmen. Die Zahnfarbe A4 wurde aus dem rot-braunen Farbtonbereich und die Zahnfarbe B2 aus dem rot-gelben Farbtonbereich gewählt (Stoll et al. 2008).

Es wurden aus gängigen Kronenmaterialien, die einer Zahnfarbbestimmung bedürfen, Vertreter ausgewählt. Dazu gehörten Keramikronen, Kunststoffronen, Metallronen mit Keramikverblendung und Metallronen mit Kunststoffverblendung.

Zur Vereinfachung der Untersuchungsbedingungen und Prüfparameter erfolgte die Applikation des jeweiligen Verblendmaterials nur in einfacher Schichttechnik mit Dentinmasse. Auf die bei klinisch eingesetzten Kronen anzuwendende Schichttechniken mit Massen verschiedener Opazitäten (z.B. Dentin- / Schmelz- / Transparent-Massen) wurde bewusst verzichtet.

Für die Keramikronen wurde IPS e.max Press HAT-Rohlinge (Ivoclar Vivadent, Schaan, FL) verwendet, die aus Lithium-Disilikat-Glaskeramik bestehen (Abb.21, S.34). Diese Rohlinge sind aufgrund ihrer Transluzenz ideal zur Herstellung von Front- und Seitenzahnronen geeignet.

Für die Kunststoffronen wurde SR Adoro (Ivoclar Vivadent, Ellwangen, D) verwendet. SR Adoro ist ein mikrogefülltes, licht-/hitzehärtendes Verblend-Composite (Abb.21, S.34). Es können sowohl metallunterstützte als auch metallfreie Restaurationen hergestellt werden.

Für die Gerüste der Metallronen mit Keramikverblendung (Abb.22, S.34), sowohl für die der Metallronen mit Kunststoffverblendung (Abb.22, S.34) wurde die CrCoMo-Speziallegierung (Co 61,1%, Cr 32%, Mo 5,5%, Si 0,7% und Mn 0,7%) verwendet (OKTA-C, SAE Dental Vertriebs GmbH, Bremerhaven, D).

### 5.1.2 Bestimmung des Kronenreferenzwertes

Nach dem Einsetzen der Kronen erfolgte die finale Bestimmung eines mittleren Farbreferenzwertes (n=20; Vita Easyshade; Abb.14+15, Seite28). Dies erfolgte objektiv mit dem digitalen Farbmessgerät (Vita Easyshade, Vita) (Abb.13, S.26) um Varianzen einer subjektiven Bestimmung auszuschließen.

Wie schon in der Studie von Lehmann et al. (2010) zeigte sich, dass mit dem Vita Easyshade Messdaten für zahnfarbene transluzente Keramiken als auch Kunststoffmaterialien bestimmt werden können.

Auch in einer Studie von Treunert et al. (2004) konnte festgestellt werden, dass Farbmessgeräte Vorteile gegenüber der rein visuellen Farbbestimmung haben. Anders als beim Menschen sind diese Geräte unabhängig von Umgebungsvariablen.

Olms et al. (2009) fanden heraus, dass dabei die Häufigkeit der Kalibrierung zwischen den Messungen eine untergeordnete Rolle spielt. Es gab keine statistisch signifikanten Unterschiede und Korrelationen zwischen häufiger und seltener Kalibrierung.

### 5.1.3 Probandenauswahl

An der Studie nahmen 60 sowohl männliche als auch weibliche Probanden teil. Um standardisierte Bedingungen zu erreichen, waren diese gleichmäßig verteilt.

Auf das Alter bezogen wurden die Gruppen in < 35 Jahre und  $\geq$  35 Jahre eingeteilt. Faber et al. (1999) unterteilten die Probanden in < 30-, bis 40-, bis 50-, bis 60- und über 60-jährige. Sie fanden einen signifikanten Unterschied zwischen der Gruppe <30 Jahre und der Gruppe über 50- bzw. über 60-jährigen. Beim weiteren paarweisen Vergleich der Gruppen ergab sich kein signifikanter Unterschied. Aus diesem Grund wurde in der vorliegenden Studie die Alterstrennung auf 35 Jahre definiert.

Alle Probandengruppen waren in der Martin-Luther-Universität in Halle (Saale) beschäftigt. Es erfolgte eine Einteilung nach Berufsgruppen (Zahnärzte, Zahntechniker, Zahnarthelferinnen, Zahnmedizinstudenten). Bei einer ähnlichen Studie von Faber et al. (1995) setzten sich die Berufsgruppen gleichermaßen aus Zahnärzten, Zahntechnikern, Zahnarthelferinnen und Zahnmedizinstudenten zusammen.

Alle Gruppen wurden zunächst dem Ishihara-Farbsehtest unterzogen, um mögliche Farbuntüchtigkeit auszuschließen. Der konventionelle Ishihara-Test kann laut Bratner et. al (2010) als Beamerprojektion routinenmäßig als Screening der Farbsehtüchtigkeit in der Zahnmedizin eingesetzt werden. Die Untersuchung ergab eine Sensitivität von 100%, sowie eine Spezifität von 99,6%. Dabei wurde die Nichterkennung von drei Tafeln oder mehr, als Farbenblind angegeben (Haskett und Hovis 1987). Um noch

spezifischer zu selektieren wurden in der vorliegenden Studie Probanden bereits bei der Nichterkennung einer Farbtafel ausgeschlossen.

#### **5.1.4 Handhabung der Farbringsysteme**

Eine internetbasierte Untersuchung von Paravina et al. (2010) stellte fest, dass sowohl der Vitapan Classical als auch der Vitapan 3D-Master weltweit die beiden meist benutzten Farbringsysteme sind.

Im Rahmen dieser Studie sollte untersucht werden, mit welchem der beiden getesteten Farbringsysteme reproduzierbarere Ergebnisse erzielt werden können.

Die zwei Farbringsysteme, die in der vorliegenden Studie verglichen wurden, zeigten sich beide als relativ übersichtlich zu handhabende Hilfsmittel für die visuelle Zahnfarbbestimmung.

Bei dem Vergleich der zwei Farbringsysteme zeigte sich, dass die Probanden ohne die künstliche Lichtquelle mit dem Vitapan Classical zu 44,4% und mit dem Vitapan 3D-Master zu 52,9% die korrekte Farbe fanden. Durch den Einsatz der Lichtquelle stiegen die Werte mit dem Vitapan Classical auf 52,9% und mit dem Vitapan 3D-Master auf 57,8%. Bemerkenswert ist, dass die Gruppe der Zahnärzte und der Zahnarzthelfer mit der Lichtquelle niedrigere Übereinstimmungen bei der Bestimmung der Zahnfarbe erzielten als ohne Lichtquelle.

Obwohl es kein vorgegebenes Zeitlimit für die Zahnfarbbestimmung gab, hatten die meisten Probanden eine deutlich verlängerte Farbbestimmungszeit mit dem Vitapan 3D-Master. Da bei dem Vitapan 3D-Master Farbringsystem 26 statt wie bei Vitapan Classical Farbringsystems 16 Farbmusterzähne vorhanden sind und eine vorgegebene Systematik erfordert, beansprucht dies eine längere Farbbestimmungszeit (Junker-Malcharek et al. 2002).

Junker-Malcharek et al. (2002) beurteilten in ihrer Studie neben der Bewertung der Handhabbarkeit auch den unterschiedlichen Zeitaufwand für die Zahnfarbbestimmung. Die Zeit während der Versuche, die korrekte Zahnfarbe mit den jeweiligen Farbringsystem zu bestimmen, ermittelten die Autoren mit einer Stoppuhr, wobei es kein vorgegebenes Zeitlimit für die Bestimmung gab. Anschließend sollten vorformulierte Fragebögen beantwortet werden, bei denen die Fragen mit leicht, mittel oder schwierig einzustufen waren. Bei der Beurteilung der Handhabbarkeit und des Schwierigkeitsgrades der Farbbestimmung lagen die Ergebnisse im Bereich mittel oder schwierig. Das Vitapan 3D-Master Farbringsystem wurde hierfür von 77,2% der Probanden als korrekt bewertet. Die Autoren bemerkten, dass beim Vita Classical im Gegensatz zum Vitapan 3D-Master Farbringsystem große Abschnitte des

dreidimensionalen Farbraumes nicht beachtet werden. Auch die Darstellung der Mischung von Zwischentönen bei dem Vitapan 3D-Master ist ein Vorteil des farbmetrischen Ordnungsprinzips, den bis zu ihrer Einführung keine dentale Farbskala besaß.

Die Eingewöhnungszeiten und die damit verbundenen Farbbestimmungszeiten wurden auch von Touz et al. (1999) erfasst. Danach können diese im Laufe der Zeit und mit steigender Berufserfahrung durch eine größere Treffsicherheit verkürzt werden.

Bei der Benutzung eines Farbringensystems, mit dem der Farbnehmer nicht vertraut ist, ist nach Faber et al. (1995) eine Einführung in die Anwendung erforderlich. Dabei ist die Erfahrung mit einem davor verwendeten Farbringensystem nicht von Bedeutung.

Die Studenten, die in dieser Studie mit keinem Farbringensystem vertraut waren, konnten unbeeinflusst die Zahnfarbe mit beiden Farbringensystemen bestimmen. Dabei gab es eine höhere Übereinstimmung bei dem Vitapan 3D-Master im Gegensatz zu den Probandengruppen die mit dem Vita Classical Farbring vertraut waren. Daraus kann abgeleitet werden, dass der Vitapan 3D-Master schon in der Ausbildung vorteilhaft eingesetzt werden kann, da seine Verwendung genauere Ergebnisse erzielen lässt.

Die wenigen Studien, die sich mit der Erlernbarkeit der Zahnfarbbestimmung auseinandersetzen kommen zu ähnlichen Resultaten. Kroszewsky et al. (2004) führten Farnsworth- und Lanthony-Farbsehtests mit Studenten durch. Dabei sollte jeder Proband an Farbproben in Form von Oberkiefer-Inzisiven mit dem Vitapan 3D-Master Farbringensystem die Farbe bestimmen. Die Studenten hatten die Möglichkeit, verschiedene Übungen am Computer mit dem Softwareprogramm „Toothguide Trainer“ durchzuführen. Am Ende wurde noch einmal eine Farbdifferenzierung an denselben Farbproben durchgeführt. Bei der Auswertung der Ergebnisse der einzelnen Teilnehmer konnten sich diese signifikant um 28,8% verbessern.

### **5.1.5 Getestete Lichtquelle**

Wie Bücking (2006) erläuterte, bemerkt der Mensch nur starke Abweichungen bei der Betrachtung des Spektrums von Tageslicht und von Glühlampen, welche die exakte Farbauswahl mit Kunstlicht sehr problematisch gestalten. Aus diesem Grund werden Lichtquellen mit einer standardisierten Lichtemission zur Farbbestimmung gewählt. In der vorliegenden Studie wurde die Lichtquelle Optilume Trueshade (Optident,GB), untersucht wurde.

Die Farbbestimmung erfolgte für die Kronen an zwei verschiedenen Tagen unter zwei verschiedenen Lichtverhältnissen (Abb.21 und 22; S.34), somit sollte das Risiko minimiert werden, dass die Probanden sich das Ergebnis der ersten

Zahnfarbbestimmung merken können. Dafür wurde die erste Untersuchung vormittags unter diffusem Nordlicht mit beiden Farbringsystemen durchgeführt. Die zweite Untersuchung erfolgte unter den gleichen Bedingungen an einem anderen Tag mit der künstlichen Lichtquelle (Abb.19, S. 32) (Corcodel et al. 2010b).

#### **5.1.6 Handhabung der künstlichen Lichtquelle**

Obwohl sich fast bei allen Gruppen signifikante Unterschiede hinsichtlich der Qualität der Farbbestimmung durch die Nutzung der künstlichen Lichtquelle zeigten ( $p < 0,05$ ), hatten die Probanden Eingewöhnungsschwierigkeiten.

Zunächst bedarf es einer Eingewöhnungsphase bis der Proband sich sowohl mit der Handhabung der Lichtquelle als auch mit deren Nutzung auseinandergesetzt (wie man die Lichtquelle richtig halten soll, welchen Abstand man einhalten muss, aber auch gleichzeitig den Wunsch des Patienten berücksichtigen soll; Bücking, 2006).

Anfänglich führt dies zu verlängerten Farbbestimmungszeiten, die im Laufe der Zeit und der Berufserfahrung immer kürzer werden (Oultram, 2007b).

Insgesamt erlangten alle Gruppen mehr Übereinstimmungen mit dem Referenzfarbwert sobald die Lichtquelle in Benutzung war.

Im Ergebnis der vorliegenden Studie zeigte sich jedoch, dass mit einiger Übung mit der künstlichen Lichtquelle bessere Resultate bei der Zahnfarbbestimmung erreicht werden können.

Da es keine Studien mit dieser Lichtquelle gab, konnte kein Vergleich durchgeführt werden.

#### **5.1.7 Zahnfarbenbestimmung**

In dieser Untersuchung erfolgte die Zahnfarbbestimmung zeitversetzt mit dem Vita Classical-, anschließend mit dem Vitapan 3D-Master-Farbring (an zwei verschiedenen Tagen) mit und ohne Nutzung der künstlichen Lichtquelle (Abb.19, Seite 32).

Vor Beginn der Farbbestimmungen wurde jeder Proband mit der Handhabung der zwei Farbringsysteme (Corciolani et al. 2009) sowie der künstlichen Lichtquelle vertraut gemacht (Bücking 2006).

Zur konventionellen Zahnfarbbestimmung stehen von der Industrie grundsätzlich verschiedene definierte Farbskalen/Farbringsysteme zur Verfügung (Park et al. 2006).

Bei Untersuchungen, die zur Verbesserung solcher Farbringsysteme führen sollten, fand Setz (1992) mehrere Probleme mit dem von ihm getesteten Substanzen. Ein

erster Mangel ist die Schichtung der Farbmuster, der zu verschiedenen Ergebnissen bei der Zahnfarbbestimmung führte. Deswegen sollten Farbmuster für metallkeramische Verblendung auch auf eine Metallunterlage aufgebracht sein und nicht aus vollkeramischen Musterzähnen bestehen.

Bei einer ähnlichen Studie gelang es der Arbeitsgruppe um Setz (1992) verschiedene Fehlerquellen der konventionellen Zahnfarbbestimmung zu eliminieren. Eindeutige Unterschiede fanden sie bei der Farbmessung von Zahnfarbringen unterschiedlicher Chargen und Produktionsdaten. Beim Vergleich eines ca. 10 Jahre alten Keramikfarbrings mit einem Neuen war z.B. ein deutlicher Unterschied zu finden.

Hinsichtlich der Farbkongruenz von Zahnersatz stellte Hegenbarth (1992) fest, dass schon minimale Abweichungen in der Helligkeit zwischen Restzahnbestand und einem einzugliedernden Zahnersatz ein wichtiger Parameter für die Akzeptanz ist und als störend empfunden werden kann.

Aus diesen Gründen sollten intensive Umgebungsfarben während der Zahnfarbbestimmung vermieden werden. Zahnfarbbestimmungen sollten unter tageslichtähnlichen Bedingungen von einem farbsehtüchtigen Farbbestimmer durchgeführt werden. Darüber hinaus sollten auffällige Farben an Kleidung, Lippenstift oder Vorhängen in den Behandlungsräumen vermieden werden (Stellungnahme der DGZMK und Faber 2002).

## **5.2 Diskussion der Ergebnisse – Vergleich mit der Literatur**

### **5.2.1 Ergebnisse aller Probanden**

Durch die standardisierte Lichtquelle verbesserte sich die Zahnfarbbestimmung hoch signifikant ( $p < 0,01$ ). Ohne zusätzliche Lichtquelle bestimmten 48,9% aller Probanden die Farben korrekt. Bei den Farbbestimmungen mit der Lichtquelle fanden 57,3% aller Probanden die jeweils richtigen Zahnfarben.

Bei den altersspezifischen Differenzen konnte ebenfalls eine Signifikanz ermittelt werden ( $p < 0,05$ ). Die geschlechtsspezifischen Differenzen waren nicht signifikant ( $p > 0,05$ ).

Es wurde weiterhin untersucht, wie sich diese Ergebnisse in den verschiedenen Geschlechts-, Alters- und Berufsgruppen verifizieren. Zusätzlich sollten sowohl die verschiedenen Farbringsysteme, als auch die unterschiedlichen Restaurationsmaterialien zu Veränderungen in der Farbbestimmungsqualität in Bezug auf die Nutzung der Lichtquelle untersucht werden.

### **5.2.2 Ergebnisse in Abhängigkeit vom Geschlecht der Probanden**

Kontrovers wird die Abhängigkeit des Geschlechts auf die Qualität der Farbbestimmung diskutiert. Die bessere Fähigkeit von Frauen als Farbnehmer wird von Junker-Malcharek et al. (2002) beschrieben, aber nach Aussage von Faber et al. (1995) und Mollon (1986) gibt es keinen Einfluss des Geschlechts auf die Farbbestimmung.

In der Fragestellung der Studie von Haddad et al. (2009), ob das Geschlecht und die Erfahrung bei der Farbbestimmung eine ausschlaggebende Rolle spielen, kamen die Autoren zu dem Ergebnis, dass Frauen signifikant besser die richtige Farbe bestimmen als Männer.

Bei der vorliegenden Studie, fanden ohne die Nutzung der Lichtquelle 45,7% der Frauen und 43,1% der Männer die richtige Zahnfarbe. Mit Hilfe der Lichtquelle stiegen die Werte der Frauen auf 56% und der Männer auf 53,2%. Die Frauen erzielten insgesamt mit aber auch ohne Nutzung der Lichtquelle, bessere Ergebnisse als die Männer. Diese geschlechtsspezifischen Unterschiede waren allerdings nicht signifikant ( $p = 0,367$ ).

### 5.2.3 Ergebnisse in Abhängigkeit vom Alter der Probanden

Faber et al. (1995) konnte beim Alter signifikante Unterschiede zwischen der Gruppe der bis 30-jährigen und den anderen Altersgruppen (über 50- und über 60-jährigen) finden.

In einer ähnlichen Studie von Capa et al. (2010), konnte zwischen jungen und alten Probanden ein signifikanter Unterschied ( $p=0,027$ ) festgestellt werden.

In einer Studie von Junker-Malcharek et al. (2002) erwiesen sich die jüngeren Farbnehmer (80,5%), gegenüber den Älteren (33,3%), als farbsehtüchtiger.

In der vorliegenden Studie wurden die Probanden nach ihrem Alter in Gruppe A (< 35 Jahre) und Gruppe B ( $\geq$  35 Jahre) unterteilt. Die Gruppe A erzielte ohne die Nutzung der Lichtquelle eine Farbtrefferquote von 55,5%. Demgegenüber erzielte Gruppe B nur eine Trefferquote von 27% ( $p=0,03$ ). Durch den Einsatz der Lichtquelle stiegen die positiven Ergebnisse der Gruppe A auf 59,7% und die der Gruppe B auf 58,7% auf ( $p=0,935$ ). Die Unterschiede bei der Bestimmung der Farbwerte waren in Gruppe A nicht signifikant, wo hingegen es in Gruppe B zu einer signifikanten Verbesserung der Bestimmungsqualität durch den Einsatz der Lichtquelle kam.

Dieser Umstand kann damit erklärt werden, dass mit zunehmendem Alter die Elastizität und damit die Akkommodationsfähigkeit (dynamische Anpassung der Brechkraft des Auges) der Linse abnimmt. Dieser lebenslang voranschreitende Prozess wird im Bevölkerungsdurchschnitt etwa ab dem 45. Lebensjahr bemerkbar (Grehn, 2003).

### 5.2.4 Ergebnisse in Abhängigkeit von der Berufsgruppe der Probanden

Im Ergebnis zeigten sich in der vorliegenden Untersuchung die Berufsgruppen der Probanden als größter Einflussfaktor bei der Zahnfarbbestimmung sowohl mit, als auch ohne Nutzung der Lichtquelle.

In der Studie von Faber et al. (1999) fanden sich Unterschiede zwischen den Berufsgruppen, wobei die Zahnärzte ( $P=5,7\pm 2,2$ ) bessere Ergebnisse als die Studenten ( $P=4,9\pm 2,0$ ) und Zahnarthelfer ( $P=4,7\pm 1,8$ ) zeigten. Diese waren allerdings nicht signifikant. Im Vergleich dieser drei Gruppen zur Gruppe der Zahntechniker ( $P=8,0\pm 1,6$ ) gab es hingegen höchst signifikante Unterschiede.

In einer weiteren Studie stellten Faber et al. (1995) beim Vergleich der Erfahrung der Probanden (Zahnärzte und Studenten) fest, dass diese bei der Farbbestimmung eine sehr wichtige Rolle spielt.

Eine experimentelle Gegenüberstellung dentaler Berufe und deren Auswirkungen auf die Qualität der Zahnfarbbestimmung wurde auch von Capa et al. (2010) vorgenommen. Gefolgt von den Gruppen der Zahntechniker, Studenten und Zahnärzthelfer erzielten die Zahnärzte die besten Resultate.

In der vorliegenden Studie fanden ohne die Nutzung der Lichtquelle 66,5% der Zahnärzte, 39,7% der Zahntechniker, 47,3% der Studenten und 41,1% der Zahnärzthelferinnen die korrekte Zahnfarbe. Mit Hilfe der Lichtquelle stiegen die Werte der Zahnärzte auf 68,3%, der Zahntechniker auf 52,2%, der Studenten auf 60,7% und der Zahnärzthelferinnen auf 48,6%.

Bei den Zahnärzten führte der Einsatz der Lichtquelle, zu keiner signifikanten Verbesserung (ohne Hilfe der Lichtquelle 65,5% und mit 68,3%;  $p > 0,05$ ). Die Gruppen der Zahntechniker, Zahnärzthelfer und Studenten hatten jeweils signifikant höhere Farbbestimmungsquoten durch den Einsatz der Lichtquelle ( $p < 0,05$ ).

### **5.2.5 Ergebnisse in Abhängigkeit vom Kronenmaterial**

Wechselnde Farbeindrücke durch die verschiedenen Keramikmassen und deren Schichtstärken im Bereich der Schneidekante können zu fehlerhaften Zahnfarbbestimmungen führen (Kim et al. 2009, Fazi et al. 2009, Luo und Zhang 2010, Vichi et al. 2011).

Vichi et al. (2011) führten verschiedene Versuche durch, um unterschiedliche Faktoren, die die Zahnfarbbestimmung beeinflussen, zu untersuchen. Dabei spielte das Mischungsverhältnis zwischen Pulver und Flüssigkeit für die Verblendung eine sehr große Rolle. Desweiteren spielte dabei sowohl die Verglasung und die Temperatur, als auch die Metallgerüstbearbeitung eine Rolle. Die Autoren beschrieben Abweichungen bei der Zahnfarbbestimmung zwischen Metallkronen mit Kunststoff- und Keramikverblendung zu Kunststoff- und Keramikkrone ohne metallischen Kragen. Wie auch in anderen Studien (Luo und Zhang 2010) konnten in der vorliegenden Studie die wenigsten Übereinstimmungen zu den Referenzwerten bei den Metallkronen mit Kunststoffverblendung ermittelt werden, gefolgt von den Metallkronen mit Keramikverblendung.

Stavridakis et al. (2004) fanden heraus, dass die finale Zahnfarbe der Metallkronen mit Kunststoff- und Keramikverblendung abhängig von der Schichtdicke des Verblendungsmaterials, aber auch der Wandstärke des Metallgerüsts ist. Desweiteren konnte festgestellt werden, dass bei hellen Zahnfarben (wie z.B. A1, A2, B1, B2) und geringeren Schichtdicken der Krone die Zahnfarbe leichter bestimmt werden kann (Stavridakis et al. 2004).

Zu den gleichen Ergebnissen, dass sowohl die Wandstärke als auch die Schichtung der Verblendung die Farbe der Kronen beeinflusst, kamen auch Ozcelik et al (2008).

Eine experimentelle Gegenüberstellung hinsichtlich möglicher Unterschiede bei der Bestimmungsgenauigkeit von hellen und dunklen Zahnfarben wurde von Jacobs et al. (1987) vorgenommen. Dabei zeigten sich signifikante Unterschiede aller Farbnehmer in der Zuverlässigkeit der Farbbestimmung zwischen den Zahnfarbmustern Vita Classical B2 und C2 und zwischen den Mustern A4 und C4 (Jacobs et al. 1987).

In der vorliegenden Studie fanden bezogen auf das Kronenmaterial die Zahnärzte mit dem Vita Classical die meisten Übereinstimmungen bei der Kunststoffkrone A4 und B2, die Zahnarthelferinnen bei der Kunststoffkrone A4. Die wenigsten korrekten Referenzfarbwerte ermittelten die Studenten bei Metall/Kunststoffkrone A4.

Die Zahnärzte fanden mit dem Vita 3D-Master die meisten Übereinstimmungen bei der Kunststoffkrone und der Keramikkrone A4, die Studenten bei der Kunststoffkrone A4 und die Zahntechniker bei der Keramikkrone A4. Die wenigsten korrekten Farbwerte ermittelten die Zahnarthelferinnen bei der Metall/Keramikkrone B2.

Es gab signifikante Unterschiede mit dem Vita Classical Farbring im Bezug auf die Testung mit/ohne Lichtquelle bei der Keramikkrone A4 ( $p=0,002$ ), der Metallkrone mit Keramikverblendung A4 ( $p=0,012$ ) und B2 ( $p=0,000$ ). Keine signifikanten Unterschiede konnten bei den Kunststoffkronen (A4,  $p=0,146$ ; B2,  $p=0,267$ ), der Keramikkrone B2 ( $p=0,581$ ) und den Metallkronen mit Kunststoffverblendung (A4,  $p=0,227$ ; B2,  $p=0,607$ ) festgestellt werden.

Hinsichtlich des Vita 3D-Masters mit/ohne Lichtquelle gab es signifikante Unterschiede bei der Keramikkrone B2 ( $p<0,000$ ), der Metallkrone mit Keramikverblendung A4 ( $p=0,003$ ) und der Metallkrone mit Keramikverblendung B2 ( $p=0,007$ ). Keine signifikanten Unterschiede konnten bei den Kunststoffkronen A4 ( $p=0,727$ ) und B2 ( $p=0,481$ ), den Keramikkronen (A4,  $p=1,0$ ; B2,  $p=0,180$ ), den Metallkronen mit Kunststoffverblendung (A4,  $p=0,302$ ; B2,  $p=1,0$ ) und den Metallkronen mit Keramikverblendung A4 ( $p=0,503$ ) und B2 ( $p=1,0$ ) festgestellt werden.

Unabhängig von den Farbringssystemen, die in dieser Studie benutzt wurden, erzielten alle Probandengruppen bei den Kunststoffkronen die höchsten Übereinstimmungen zu den Referenzfarbwerten sowohl ohne als auch mit der Lichtquelle ( $p<0,05$ ) Ähnlich verhielt es sich mit den Keramikkronen, bei denn fast genauso hohe Übereinstimmungen mit den korrekten Farben erzielt wurden.

## 6 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Zur Standardisierung der Lichtverhältnisse bei der konventionellen Zahnfarbbestimmung stehen künstliche Lichtquellen zur Verfügung. Ziel dieser Untersuchung war die Überprüfung des möglichen Einflusses einer solchen künstlichen Lichtquelle auf Qualität der dentalen Farbbestimmung. Dabei wurde deren eventueller Einfluss hinsichtlich unterschiedlicher Faktoren und Parameter wie Geschlecht, Alter, Berufserfahrung, verwendete Farbringsysteme und die Art des zu bestimmenden Restaurationsmaterials untersucht.

Bezogen auf das Geschlecht gab es durch den Einsatz der künstlichen Lichtquelle keine signifikanten Unterschiede bei der Zahnfarbbestimmung.

Das Alter der Probanden hatte einen deutlichen Einfluss auf die Zahnfarbbestimmung. Die Gruppe der über 35jährigen erzielte im Gegensatz zur Gruppe der unter 35jährigen sowohl mit, als auch ohne Verwendung der getesteten Lichtquelle bei allen getesteten Restaurationen eine signifikant schlechtere Bestimmungsqualität.

Im Vergleich der unterschiedlichen Berufs- und Erfahrungsgruppen erzielten die Zahnärzte sowohl mit als auch ohne künstliche Lichtquelle die signifikant besten Ergebnisse aller Probandengruppen. Die geringste Übereinstimmung zwischen tatsächlicher und bestimmter Zahnfarbe fand sich ohne Einsatz der künstlichen Lichtquelle in der Gruppe der Zahntechniker und mit Einsatz der künstlichen Lichtquelle in der Gruppe der Zahnarzthelferinnen.

Von den zwei verwendeten Farbringsystemen wurde von der Mehrzahl der Probanden sowohl mit, als auch ohne künstliche Lichtquelle mit dem Vitapan-3D Master System eine höhere Übereinstimmungsquote als mit dem Vita-Classical-System erzielt.

Hinsichtlich der Farbbestimmung bei den verschiedenen Restaurationsmaterialien kamen alle Probandengruppen durch die Nutzung der künstlichen Lichtquelle zu einer höheren Übereinstimmungsquote mit dem Referenzfarbwert als ohne Nutzung dieser Lichtquelle. Dabei wurde bei den Keramikkrone sowohl mit, als auch ohne künstliche Lichtquelle die Zahnfarbe am häufigsten korrekt bestimmt. Bei den kunststoffverblendeten Metallkrone fiel sowohl mit, als auch ohne künstliche Lichtquelle die Übereinstimmungsquote insgesamt am geringsten aus.

Anhand der in der vorliegenden Arbeit ermittelten Ergebnisse lässt sich schlussfolgern, dass der Einsatz der künstlichen Lichtquelle auf die Qualität der Farbbestimmung den vermutlich größten Nutzen in der Gruppe der Zahntechniker bringt. Hingegen war der Einfluss der künstlichen Lichtquelle auf die Qualität der Farbbestimmung in der Gruppe der Zahnärzte am geringsten.

In der vorliegenden Studie führte der Einsatz einer solchen Lichtquelle zu einer generellen Qualitätsverbesserung der konventionellen Zahnfarbbestimmung.

## 7 Literaturverzeichnis

Baltzer A, Kaufmann-Jinoian V: Die digitale Farbmessung der Zähne. Quintessenz Zahntech 30 8 (2004) 834-858

Bayindir F, Kuo S, Johnston WM, Wee AG: Coverage error of three conceptually different shade guide systems to vital unrestored dentition. J Prosthet Dent 98 3 (2007) 175-185

Boeckler AF, Stadler A, Setz JM: The significance of marginal gap and overextension measurement in the evaluation of the fit of complete crowns. J Contemp Dent Pract 6 4 (2005) 26-37

Borbely J., Varsanyi B., Fejerdy P., Hermann P., Jakstat H.A.: Toothguide Trainer tests with color vision deficiency simulation monitor. J Dent 38 Suppl 2 (2010) 41-49

Bratner SR, Vichi A, Borbely J, Jakstat HA: Der Ishihara test als Beamerprojektion zum Screening der Farbtüchtigkeit in der Zahnmedizin. Dtsch Zahnärztl Z 65 1 (2010) 29-33

Broschmann D, Kuchenbecker J: Tafeln zur Prüfung des Farbenns. Thieme Verlag Stuttgart New York, 2011, S. 7-10

Bücking W: Die standardisierte Zahnfarbenbestimmung. Dtsch Zahnärztl Z 57 7 (2006) 733-743

Burk A, Burk R: Farbsinn. In: Checkliste Augenheilkunde. Thieme Verlag Stuttgart New York, 2010, S. 52-55

Capa N, Malkondu O, Kazazoglu E, Calikkocaoglu S: Evaluating factors that affect the shade-matching ability of dentists, dental staff members and laypeople. J Am Dent Assoc 141 1 (2010) 71-76

Chu SJ: The science of color and shade selection in aesthetic dentistry. Dent Today 21 9 (2002) 86-89

Chu SJ, Trushkowsky RD, Paravina RD: Dental color matching instruments and systems. Review of clinical and research aspects. J Dent 38 Suppl 2 (2010) e2-16

Corciolani G, Vichi A, Goracci C, Ferrari M: Colour correspondence of a ceramic system in two different shade guides. J Dent 37 2 (2009) 98-101

Corciolani G, Vichi A, Louca C, Ferrari M: Color match of two different ceramic systems to selected shades of one shade guide. J Prosthet Dent 105 3 (2011) 171-176

Corcodel N, Helling S, Rammelsberg P, Hassel AJ: Metameric effect between natural teeth and the shade tabs of a shade guide. *Eur J Oral Sci* 118 3 (2010a) 311-316

Corcodel N, Rammelsberg P, Jakstat H, Moldovan O, Schwarz S, Hassel AJ: The linear shade guide design of Vita 3D-master performs as well as the original design of the Vita 3D-master. *J Oral Rehabil* 37 11 (2010b) 860-865

Corcodel N, Rammelsberg P, Moldovan O, Dreyhaupt J, Hassel AJ: Effect of external light conditions during matching of tooth color: an intraindividual comparison. *Int J Prosthodont* 22 1 (2009) 75-77

Curd FM, Jasinevicius TR, Graves A, Cox V, Sadan A: Comparison of the shade matching ability of dental students using two light sources. *J Prosthet Dent* 96 6 (2006) 391-396

Da Silva JD, Park SE, Weber HP, Ishikawa-Nagai S: Clinical performance of a newly developed spectrophotometric system on tooth color reproduction. *J Prosthet Dent* 99 5 (2008) 361-368

Davison SP, Myslinski NR: Shade selection by color vision-defective dental personnel. *J Prosthet Dent* 63 1 (1990) 97-101

Dobberstein I: Objektiv bestimmen - subjektiv wahrnehmen. *Quintessenz Zahntech* 35 4 (2009) 420-422

Douglas RD, Steinhauer TJ, Wee AG: Intraoral determination of the tolerance of dentists for perceptibility and acceptability of shade mismatch. *J Prosthet Dent* 97 4 (2007) 200-208

Dozic A, Kleverlaan CJ, El-Zohairy A, Feilzer AJ, Khashayar G: Performance of five commercially available tooth color-measuring devices. *J Prosthodont* 16 2 (2007) 93-100

Dozic A, Tsagkari M, Khashayar G, Aboushelib M: Color management of porcelain veneers: influence of dentin and resin cement colors. *Quintessence Int* 41 7 (2010a) 567-573

Dozic A, Voit NF, Zwartser R, Khashayar G, Aartman I: Color coverage of a newly developed system for color determination and reproduction in dentistry. *J*

*Ecker GA, Moser JB: Visual and instrumental discrimination steps between two adjacent porcelain shades. J Prosthet Dent* 58 3 (1987) 286-291

*Eggers G, Patellis E, Muhling J: Accuracy of template-based dental implant placement. Int J Oral Maxillofac Implants* 24 3 (2009) 447-454

*Faber FJ, Schlegel G: Visuelle und meßtechnische Zuordnung der Zahnfarbe. Dtsch Zahnärztl Z* 50 9 (1995) 661-663

Faber FJ, Schlegel G: Einfluß von Farbtüchtigkeit, Geschlecht und Beruf auf die Zahnfarbauswahl. Dtsch Zahnärztl Z 54 4 (1999) 281-283

Fazi G, Vichi A, Corciolani G, Ferrari M: Spectrophotometric evaluation of color match to VITA classical shade guide of four different veneering porcelain systems for metal ceramic restorations. Am J Dent 22 1 (2009) 19-22

Feigenbaum NL, Mopper WK: Farbgebung mit Kompositen. In: Ästhetik mit Kompositen. Deutsche Lizenzausgabe Copyright ( c ) by Deutscher Ärzte-Verlag GmbH, Köln, 1989, S. 158-161

Gerd Loser & Co GmbH: Trueshade. In: Leverkusen - D, 2006

Gernet W, Biffar R, Schwenzer N, Ehrenfeld M: Zahnärztliche Prothetik. In: Georg Thieme Verlag Stuttgart New York, 2007, S. 36-66

Ghinea R, Perez MM, Herrera LJ, Rivas MJ, Yebra A, Paravina RD: Color difference thresholds in dental ceramics. J Dent 38 Suppl 2 (2010) e57-e64

Gordon N: Colour blindness. Public Health 112 2 (1998) 81-84

Grehn F: Augenheilkunde. 28. Auflage. Aufl. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 2003, S. 349-402

Haddad HJ, Jakstat HA, Arnetzl G, Borbely J, Vichi A, Dumfahrt H, Renault P, Corcodel N, Pohlen B, Marada G, de Parga JA, Reshad M, Klinke TU, Hannak WB, Paravina RD: Does gender and experience influence shade matching quality? J Dent 37 Suppl 1 (2009) e40-e44

Haskett MK, Hovis JK: Comparison of the Standard Pseudoisochromatic Plates to the Ishihara color vision test. Am J Optom Physiol Opt 64 3 (1987) 211-216

Hatzikyriakos A: Esthetics and Prosthetics. Siokis Verlag, Thessaloniki, 2007

Hegenbarth EA: Monotonie oder Vielfalt - die Problematik konventioneller Farbsysteme in der Dentalkeramik. Quintessenz Zahntech 18 (1992) 1303-1323

HF Kappert, K Eichner: Zahnärztliche Werkstoffe und ihre Verarbeitung. Thieme Verlag Stuttgart, 2008

Hellwig E, Klimek J, Attin T: Einführung in die Zahnerhaltung. Urban & Schwarzenberg, München Wien Baltimore, 1995

Herting S, Schmidt E, Staiger W: Augenheilkunde in Frage und Antwort. Urban & Fischer, 2007

Ishikawa-Nagai S, Ishibashi K, Tsuruta O, Weber HP: Reproducibility of tooth color gradation using a computer color-matching technique applied to ceramic restorations. J Prosthet Dent 93 2 (2005) 129-137

Ishikawa-Nagai S, Sato RR, Shiraishi A, Ishibashi K: Using a computer color-matching system in color reproduction of porcelain restorations. Part 3: A newly developed spectrophotometer designed for clinical application. *Int J Prosthodont* 7 1 (1994) 50-55

Ishikawa-Nagai S, Yoshida A, Da Silva JD, Miller L: Spectrophotometric analysis of tooth color reproduction on anterior all-ceramic crowns: Part 1: analysis and interpretation of tooth color. *J Esthet Restor Dent* 22 1 (2010) 42-52

Ishikawa-Nagai S, Yoshida A, Sakai M, Kristiansen J, Da Silva JD: Clinical evaluation of perceptibility of color differences between natural teeth and all-ceramic crowns. *J Dent* 37 Suppl 1 (2009) e57-e63

Jacobs SH, Goodacre CJ, Moore BK, Dykema RW: Effect of porcelain thickness and type of metal-ceramic alloy on color. *J Prosthet Dent* 57 2 (1987) 138-145

Jahangiri L, Reinhardt SB, Mehra RV, Matheson PB: Relationship between tooth shade value and skin color: an observational study. *J Prosthet Dent* 87 2 (2002) 149-152

Jasinevicius TR, Curd FM, Schilling L, Sadan A: Shade-matching abilities of dental laboratory technicians using a commercial light source. *J Prosthodont* 18 1 (2009) 60-63

Johnston WM: Color measurement in dentistry. *J Dent* 37 Suppl 1 (2009) e2-e6

Jordan DJ: Licht als Potentielle Ursache von Augenschäden. In: *Ästhetik mit Kompositen*. Deutsche Lizenzausgabe Copyright ( c ) by Deutscher Ärzte-Verlag GmbH, Köln, 1989, S. 352-361

Junker-Malcharek A, Kroszewsky, K: Farbbestimmung mit der Vitapan classical und Vitapan 3D-Master Farbskala im Vergleich. *Dtsch Zahnärztl Z* 57 9 (2002) 562-565

Kappert HF, Bregler C: Objektive Farbbestimmung von Farbringzähnen und natürlichen Zähnen. *Quintessenz Zahntech* 18 (1992) 1279-1301

Kappert HF, Eichner K: *Zahnärztliche Werkstoffe und ihre Verarbeitung*. Hüthig Verlag Heidelberg, 1996

Kappert HF, Eichner K: *Zahnärztliche Werkstoffe und ihre Verarbeitung*. Georg Thieme Verlag, Stuttgart - New York, 2008

Karaagaçlıoğlu L, Terzioğlu H, Yılmaz B, Yurdukoru B: In vivo and in vitro assessment of an intraoral dental colorimeter. *J Prosthodont* 19 4 (2010) 279-285

Karamouzou A, Papadopoulos MA, Kolokithas G, Athanasiou AE: Precision of in vivo spectrophotometric colour evaluation of natural teeth. *J Oral Rehabil* 34 8 (2007) 613-621

Khurana R, Tredwin CJ, Weisbloom M, Moles DR: A clinical evaluation of the individual repeatability of three commercially available colour measuring devices. *Br Dent J* 203 12 (2007) 675-680

Kim JC, Yu B, Lee YK: Influence of surface layer removal of shade guide tabs on the measured color by spectrophotometer and spectroradiometer. *J Dent* 36 12 (2008) 1061-1067

Kim JG, Yu B, Lee YK: Correlations between color differences based on three color-difference formulas using dental shade guide tabs. *J Prosthodont* 18 2 (2009) 135-140

Kim-Pusateri S, Brewer JD, Davis EL, Wee AG: Reliability and accuracy of four dental shade-matching devices. *J Prosthet Dent* 101 3 (2009) 193-199

Kim-Pusateri S, Brewer JD, Dunford RG, Wee AG: In vitro model to evaluate reliability and accuracy of a dental shade-matching instrument. *J Prosthet Dent* 98 5 (2007) 353-358

Klinke Th, Pirek P, Jakstat HA: Beeinflussen getönte Brillen die Farbnahme? *Dtsch Zahnärztl Z* 62 1 (2007) 40-42

Kourtis S, Chronopoulos V, Papadimitriou P: Die Verwendung von Easysshade und Spectroshade. *team work J of Cont Dent Educ* 12 (2009) 232-240

Lagouvardos PE, Fougia AG, Diamantopoulou SA, Polyzois GL: Repeatability and interdevice reliability of two portable color selection devices in matching and measuring tooth color. *J Prosthet Dent* 101 1 (2009) 40-45

Lang G: *Augenheilkunde*. Thieme, Stuttgart, New York, 1998, S. 314-319

Lang G: Farbveränderungen. In: *Augenheilkunde*. Thieme Verlag Stuttgart New York, 2008, S. 149-150

Lee YK, Yu B: Measurement of opalescence of tooth enamel. *J Dent* 35 8 (2007) 690-694

Lee YK, Yu B, Lee SH, Cho MS, Lee CY, Lim HN: Shade compatibility of esthetic restorative materials--A review. *Dent Mater* 26 12 (2010a) 1119-1126

Lee YK, Yu B, Lee SH, Cho MS, Lee CY, Lim HN: Variation in instrument-based color coordinates of esthetic restorative materials by measurement method-A review. *Dent Mater* 26 11 (2010b) 1098-1105

Lee YK, Yu B, Lim HN: Lightness, chroma, and hue distributions of a shade guide as measured by a spectroradiometer. *J Prosthet Dent* 104 3 (2010c) 173-181

Lehmann KM, Igiel C, Schmidtman I, Scheller H: Four color-measuring devices compared with a spectrophotometric reference system. *J Dent* 38 Suppl 2 (2010) e65-e70

Ludwig K: Lexikon der Zahnmedizinischen Werkstoffkunde. Quintessenz Verlags-GmbH, Berlin, 2005

Luo XP, Zhang L: Effect of veneering techniques on color and translucency of Y-TZP. *J Prosthodont* 19 6 (2010) 465-470

Marxkors R: Lehrbuch der zahnärztlichen Werkstoffkunde. Hanser, München Wien, 1993

Marxkors R, Meiners H, Geis-Gerstorfer J: Taschenbuch der zahnärztlichen Werkstoffkunde. Deutscher Zahnärzte Verlag, Köln, 2008

Miller A, Long J, Cole J, Staffanou R: Shade selection and laboratory communication. *Quintessence Int* 24 5 (1993) 305-309

Olms C, Arnold Ch, Setz JM: Einflüsse von Umgebungsparametern auf die Reproduzierbarkeit intraoraler Farbmessungen mit dem Spektrophotometer Vita Easyshade. *Dtsch Zahnärztl Z* 64 10 (2009) 616-623

Oultram D: Trueshade for true aesthetics - part 1. *Irish Dentist* March 2007 Special Supplement Aesthetics (2007a) 72-73

Oultram D: Trueshade for true aesthetics - part 2. *Irish Dentist* April 2007 Market Roundup (2007b) 79-80

Ozcelik TB, Yilmaz B, Ozcan I, Kircelli C: Colorimetric analysis of opaque porcelain fired to different base metal alloys used in metal ceramic restorations. *J Prosthet Dent* 99 3 (2008) 193-202

Paravina RD: Critical appraisal. Color in dentistry: match me, match me not. *J Esthet Restor Dent* 21 2 (2009a) 133-139

Paravina RD: Performance assessment of dental shade guides. *J Dent* 37 Suppl 1 (2009b) e15-e20

Paravina RD: The color of aesthetics. *J Dent* 37 Suppl 1 (2009c) e1

Paravina RD: Commentary. Spectrophotometric analysis of tooth color reproduction on anterior all-ceramic crowns: Part 1: analysis and interpretation of tooth color, Part 2: color reproduction and its transfer from in vitro to in vivo. *J Esthet Restor Dent* 22 1 (2010) 64-65

Paravina RD, Majkic G, Imai FH, Powers JM: Optimization of tooth color and shade guide design. *J Prosthodont* 16 4 (2007) 269-276

Paravina RD, O'Neill PN, Swift EJ, Jr., Nathanson D, Goodacre CJ: Teaching of color in predoctoral and postdoctoral dental education in 2009. J Dent 38 Suppl 2 (2010) e34-e40

Paravina RD, Powers JM, Fay RM: Color comparison of two shade guides. Int J Prosthodont 15 1 (2002) 73-78

Park JH, Lee YK, Lim BS: Influence of illuminants on the color distribution of shade guides. J Prosthet Dent 96 6 (2006) 402-411

Raab D: Bestimmung der Zahnfarbe und Modifikation der Farbwirkung. Cosmetic Dentistry 4 (2009) 48-50

Ratzmann A, Klinke T, Schwahn C, Treichel A, Gedrange T: Reproducibility of electronic tooth colour measurements. Biomed Tech (Berl) 53 5 (2008) 259-263

Schmidseder J: Farbatlanten der Zahnmedizin. In: Thieme Verlag Stuttgart New York, 1998, S. 90-96

Schriever A, Rosiwal S, Becker J, Heidemann D: Relative Farbbestimmung dentaler Werkstoffe unter Anwendung spektraler Reflexionsmessungen. Dtsch Zahnärztl Z 48 3 (1993) 167-169

Seghi RR, Johnston WM, O'Brien WJ: Spectrophotometric analysis of color differences between porcelain systems. J Prosthet Dent 56 1 (1986) 35-40

Seghi RR, Johnston WM, O'Brien WJ: Performance assessment of colorimetric devices on dental porcelains. J Dent Res 68 12 (1989) 1755-1759

Setz J: Zahnfarbringe - Untersuchungen, Kritik und mögliche Verbesserungen. Dent Labor (Munich ) 11 (1992) 1903-1906

Setz J, Geis-Gerstorfer J, Weber H: Objektive Zahnfarbbestimmung - Fehlerquellen werden ausgeschaltet. Dent Labor (Munich ) 40 4 (1992) 667-8, 670

Sironi D, Pascetta R, Romeo G: Ästhetische Aspekte bei Keramikrestorationen. In: Präzision dentaler Ästhetik. 2004

Smith RN, Collins LZ, Naeeni M, Joiner A, Philpotts CJ, Hopkinson I, Jones C, Lath DL, Coxon T, Hibbard J, Brook AH: The in vitro and in vivo validation of a mobile non-contact camera-based digital imaging system for tooth colour measurement. J Dent 36 Suppl 1 (2008) S15-S20

Sproull RC: Color matching in dentistry. I. The three-dimensional nature of color. J Prosthet Dent 29 4 (1973a) 416-424

Sproull RC: Color matching in dentistry. II. Practical applications of the organization of color. J Prosthet Dent 29 5 (1973b) 556-566

Sproull RC: Color matching in dentistry. 3. Color control. J Prosthet Dent 31 2 (1974) 146-154

Stavridakis MM, Papazoglou E, Seghi RR, Johnston WM, Brantley WA: Effect of different high-palladium metal-ceramic alloys on the color of opaque and dentin porcelain. J Prosthet Dent 92 2 (2004) 170-178

Stellungnahme der DGZMK, Faber FJ: Die Bestimmung der Zahnfarbe. Dtsch Zahnärztl Z 57 8 (2002) 448-449

Stellungnahme der DGZMK, Kern M, Luthardt R, Reich S, Tinschert J, Pospiech P: Vollkeramische Restaurationen. Dtsch Zahnärztl Z (2007b)

Stellungnahme der DGZMK, Kern M, Luthardt R, Reich S, Tinschert J, Pospiech P: Vollkeramische Restaurationen. Dtsch Zahnärztl Z (2007a)

Stoll R, Jablonski-Momeni A, Stachniss V: Die Verwendung der Farbskalen Vitapan Classical und Vita Bleachedguide 3D-Master zur Farbkontrolle beim Bleichen vitaler Zähne. Dtsch Zahnärztl Z 63 1 (2008) 53-59

Strub JR: Curriculum Prothetik. Quintessenz Verlags-GmbH, Berlin, 1994

Tapella M: Farbnahme und Farbwahrnehmung. team work J of Cont Dent Educ 13 (2010) 350-352

Touati, Miara, Nathanson: Die Farbe natürlicher zähne. In: Touati, Miara, Nathanson (Hrsg): Ästhetische Zahnheilkunde und keramische Restauration. 2001

Touyz LZ, Raviv E, Harel-Raviv M: Cosmetic or esthetic dentistry? Quintessence Int 30 4 (1999) 227-233

Treunert I, Faber FJ: Einfluss von Farbpigmentierung und Transluzenz auf die Messwerte verschiedener Farbmessgeräte. Dtsch Zahnärztl Z 59 8 (2004) 458-461

van der Burgt TP, ten Bosch JJ, Borsboom PC, Kortsmid WJ: A comparison of new and conventional methods for quantification of tooth color. J Prosthet Dent 63 2 (1990) 155-162

van der Burgt TP, ten Bosch JJ, Borsboom PC, Plasschaert AJ: A new method for matching tooth colors with color standards. J Dent Res 64 5 (1985) 837-841

Vichi A, Louca C, Corciolani G, Ferrari M: Color related to ceramic and zirconia restorations: a review. Dent Mater 27 1 (2011) 97-108

Vita Zahnfabrik: Vita Classical Farbskala. Vita Produktinformation (2009)

Vita Zahnfabrik: Tipps zur Zahnfarbnahme. Vita Produktinformation (2010)

Vita Zahnfabrik: Vita Easyshade. Vita Produktinformation (2011)

Wasson W, Schuman N: Color vision and dentistry. *Quintessence Int* 23 5 (1992) 349-353

Wee AG, Kang EY, Johnston WM, Seghi RR: Evaluating porcelain color match of different porcelain shade-matching systems. *J Esthet Dent* 12 5 (2000) 271-280

Yilmaz B, Karaagaciloglu L: Comparison of visual shade determination and an intra-oral dental colourimeter. *J Oral Rehabil* 35 10 (2008) 789-794

Yilmaz B, Karaagaciloglu L: In vitro evaluation of color replication of metal ceramic specimens using visual and instrumental color determinations. *J Prosthet Dent* 105 1 (2011) 21-27

Yuan JC, Brewer JD, Monaco EA, Jr., Davis EL: Defining a natural tooth color space based on a 3-dimensional shade system. *J Prosthet Dent* 98 2 (2007) 110-119

## 8 Thesen

1. Die Zahnfarbbestimmung ist eine tägliche Aufgabe des Zahnarztes und wird von zahlreichen Parametern beeinflusst.
2. Einflussfaktoren wie Lichtverhältnisse, der Ort und deren Umfeld sowie der Zeitpunkt müssen bei der visuellen Zahnfarbbestimmung mittels vorgefertigter Farbringsysteme beachtet werden.
3. Einflussgrößen sind Geschlecht, Alter und Farbfehlsichtigkeit sowie der Beruf des Farbnehmers.
4. Zur Standardisierung der Lichtverhältnisse stehen künstliche Lichtquellen zur Verfügung, deren Effektivität bisher in der Literatur noch nicht ausreichend untersucht wurde.
5. Ziel dieser Studie war die Überprüfung des möglichen Einflusses einer künstlichen Lichtquelle auf die dentale Farbbestimmung.
6. Es wurden an vier verschiedenen Kronenmaterialien mit jeweils zwei unterschiedlichen Zahnfarben durch 56 Probanden verschiedener Alters-, Geschlechts- und Berufsgruppen mit Hilfe zweier Farbringsysteme die Zahnfarbe sowohl mit als auch ohne Lichtquelle bestimmt.
7. Bezogen auf das Geschlecht der Probanden zeigten sich keine signifikanten Unterschiede bei der Qualität der Farbbestimmung.
8. Hinsichtlich des Alters der Probanden zeigte sich, dass ältere Probanden ( $\geq 35$  Jahre) mit und ohne Lichtquelle signifikant geringere Übereinstimmungsquoten erzielte als jüngere Probanden ( $< 35$  Jahre).
9. Die Gruppe der Zahnärzte erzielte mit beiden getesteten Farbringsystemen sowohl mit, als auch ohne künstliche Lichtquelle die signifikant häufigsten Übereinstimmungen.

10. Von den zwei verwendeten Farbringsystemen bewies das Vitapan-3D Master Farbringsystem eine insgesamt höhere Reproduzierbarkeit bei der Farbbestimmung.
11. Bei der Bestimmung der Farbe von Keramikkrone n zeigten sich im Vergleich zu den übrigen Restaurationsmaterialien die häufigsten Übereinstimmungen mit dem Referenzfarbwert. Bei den Metallkrone n mit Kunststoffverblendung war dieser Wert am geringsten.
12. Insgesamt erzielten alle Berufs- und Erfahrungsgruppen durch die Nutzung der Lichtquelle eine Verbesserung der Übereinstimmungsquote mit der tatsächlichen Referenzfarbe.
13. Die in der vorliegenden Arbeit ermittelten Ergebnisse zeigen, dass der Einsatz der künstlichen Lichtquelle auf die Qualität der Farbbestimmung den vermutlich größten Nutzen in der Gruppe der Zahn techniker erzielt. Hingegen war der Einfluss der künstlichen Lichtquelle auf die Qualität der Farbbestimmung in der Gruppe der Zahnärzte am geringsten.
14. Der Einsatz der getesteten künstlichen Lichtquelle führte in dieser Studie somit überwiegend zu einer Qualitätsverbesserung der konventionellen Zahnfarbbestimmung.

## Tabellarischer Lebenslauf

### Angaben zur Person:

Name: Vasiliki Tsita  
Geburtsdatum: 20/04/1985  
Geburtsort: Giannitsa, Griechenland  
Staatsangehörigkeit: griechisch  
Eltern: Nikolaos Tsitas  
Kelsia Tsita, geb. Tsita  
Geschwister: Christina Tsita  
E-Mail: tsita.vasiliki@medizin.uni-halle.de

### Schulbildung:

09/1992 – 07/1997 Grundschule, Giengen an der Brenz  
10/1997 – 07/2003 Gymnasium – klassisches Lyzeum, Stuttgart Hedelfingen  
07/2003 Allgemeine Hochschulreife

### Hochschulbildung:

11/2004-02/2010 Studium der Zahnmedizin an der Aristoteles Universität Thessaloniki  
02/2010 Staatsexamen und Approbation als Zahnärztin, Thessaloniki  
07/2010 Approbation als Zahnärztin, Sachsen-Anhalt  
seit 08/2010 Wissenschaftliche Mitarbeiterin des Departments für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik (Direktor: Prof. Dr. J. Setz)  
seit 10/2010 Master of Science "Zahnmedizinische Prothetik", Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald

### **Selbstständigkeitserklärung**

Hiermit erkläre ich, **Vasiliki Tsita, geboren am 20.04.1985**, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne unerlaubte fremde Hilfe angefertigt habe.

Ich habe mich dabei keiner anderen als der von mir angegebenen Quellen und Hilfen bedient.

Halle (Saale), den

Vasiliki Tsita

### **Erklärung über frühere Promotionsversuche**

Hiermit erkläre ich, **Vasiliki Tsita, geboren am 20.04.1985**, bisher an keiner in- und/oder ausländischen Medizinischen Fakultät ein Gesuch um eine Zulassung zur Promotion eingereicht, noch die vorliegende Arbeit als Dissertation vorgelegt zu haben.

Halle (Saale), den

Vasiliki Tsita

## Danksagung

Zunächst möchte ich Herrn Privatdozent Dr. med. dent. habil. Arne F. Boeckler (Universitätspoliklinik für Zahnärztliche Prothetik der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg) ganz herzlich für die Überlassung dieses interessanten Themas und die stets förderliche fachliche Betreuung bei der Anfertigung der Arbeit danken.

An dieser Stelle möchte ich auch Herrn Univ.- Prof. Dr. med. dent. habil. Jürgen M. Setz (Direktor der Universitätspoliklinik für Zahnärztliche Prothetik der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg) ganz herzlich für die Unterstützung und die Zulassung zur Promotion an seiner Klinik danken.

Für die freundliche und zuvorkommende Unterstützung bei der zahntechnischen Vorbereitung gilt mein Dank Frau Dipl.-Ing. Ch. Arnold, Frau E. Selka (Zahntechnik der Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg) und Frau M. Schmidt (Zahntechnik Rübeling & Klar).

Frau I. Haufe (Universitätsrechenzentrum der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg) danke ich für die unkomplizierte Unterstützung bei der statistischen Auswertung.

Mein weiterer Dank gilt den Zahnärzten, Zahntechnikern, Zahnarthelfern und Studenten der Zahnmedizin des 9. Semesters (Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern der Universitätsklinik der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg) die an dieser Studie teilgenommen haben.

Mein besonderer Dank gilt Frau Dr. med. dent. K. Brandt (Universitätspoliklinik für Zahnerhaltungskunde und Parodontologie, Sektion Präventive Zahnheilkunde und Kinderzahnheilkunde) für Ihre herzliche Art, ständige Beratung, Korrektur und Motivation bezüglich dieser Arbeit.

Allen Mitarbeitern aus der Universitätspoliklinik für Zahnärztliche Prothetik möchte ich für die entspannte, freundschaftliche Atmosphäre bedanken, die es ermöglichten auch Tage wo die Untersuchungen nicht nach Wunsch liefen mit Humor zu überstehen.

Als letztes möchte ich mich bei meinen Eltern und meiner Schwester Christina bedanken. Ohne ihre verständnisvolle Unterstützung, Geduld und Motivation hätte diese Arbeit gar nicht entstehen können.