

Aus dem Universitätsklinikum Münster
Poliklinik für Zahnerhaltung
des Zentrums für Zahn-, Mund und Kieferheilkunde
der Westfälischen Wilhelms-Universität
- Direktor: Univ.-Prof. Dr. K. H. R. Ott -

**Reproduzierbarkeit der visuellen Zahnfarbenbestimmung für
zahnärztliche Restaurationen mit konfektionierten Farbringsystemen**

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung des doctor medicinae dentium
der Medizinischen Fakultät
der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster

vorgelegt von

Susanne Mruk

aus Kamen

2009

Gedruckt mit Genehmigung der
Medizinischen Fakultät
der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster

Dekan: Univ.-Prof. Dr. W. Schmitz
1. Berichterstatter: Univ.-Prof. Dr. K. H. R. Ott
2. Berichterstatter: Univ.-Prof. Dr. Dr. L. Figgener

Tag der mündlichen Prüfung: 31.08.2009

Aus dem Universitätsklinikum Münster

Poliklinik für Zahnerhaltung

- Direktor: Univ.-Prof. Dr. K. H. R. Ott -

Referent: Univ.-Prof. Dr. K. H. R. Ott

Korreferent:

Zusammenfassung

Reproduzierbarkeit der visuellen Zahnfarbenbestimmung für zahnärztliche Restaurationen mit konfektionierten Farbringsystemen

Susanne Mruk

Gegenstand dieser Untersuchung war die visuelle Farbauswahl mittels dreier konfektionierter Farbringsysteme (Vitapan-classical, Chromaskop und Vitapan-3D-Master). Ermittelt wurde als „Trefferquote“ die Häufigkeit der richtigen, bzw. übereinstimmenden Farbauswahl mit den verschiedenen Farbringen. Die Untersuchung sollte zeigen, mit welcher der verwendeten Farbskalen die besten Reproduktionsergebnisse erzielt werden können. In diesem Zusammenhang wurden ergänzend folgende Fragestellungen behandelt: Welche Faktoren sind bei der visuellen Zahnfarbenbestimmung entscheidend? Wie groß ist die Bedeutung des Farbsehvermögens einer Person? Spielen Beruf, Erfahrung oder das Geschlecht eine entscheidende Rolle?

Unter standardisierten Bedingungen wurden in der ersten Versuchsreihe (an Phantomköpfen) von 100 Probanden visuell Zahnfarbenbestimmungen vorgenommen. Bei den Probenkörpern handelte es sich um 15 Keramikzähne (P1-D3, P2-2M2, P3-130, P4-420, P5-A1, P6-A2, P7-5M2, P8-C3, P9-3M3, P10-4R2.5, P11-240, P12-520, P13-B1, P14-1M2, P15-330). Im klinischen Untersuchungsteil erfolgte die Abmusterung an einem natürlichen Frontzahn. Vor Untersuchungsbeginn wurde jeder Proband mit der Anwendung der drei verschiedenen Farbringsysteme vertraut gemacht.

Anonymisiert wurden persönliche Daten der Versuchsteilnehmer ermittelt. So konnten Aussagen über geschlechtsspezifische, berufliche und altersbedingte Auswirkungen auf das Untersuchungsergebnis getroffen werden. Vor Versuchsbeginn wurde die Farbtauglichkeit der Probanden mittels der Farbtafeln nach *Velhagen* und *Broschmann* überprüft, um den Einfluss auf das Testergebnis zu untersuchen.

Es zeigte sich, dass die Farbtauglichkeit der Probanden keinen signifikanten Einfluss auf die korrekten Farbzugeordnungen hatte. Im ersten Laborteil der Arbeit spielten Faktoren, wie das Alter oder die jeweilige Berufsgruppenzugehörigkeit eine untergeordnete Rolle. Die Testergebnisse belegen für diesen Versuchsteil einen hochsignifikanten Einfluss des Geschlechtes auf die Treffsicherheit. Die weiblichen Probanden erreichten deutlich höhere Trefferquoten als die männlichen Versuchsteilnehmer. Im zweiten klinischen Teil der Arbeit erzielte die Gruppe der Zahnärzte deutlich bessere Ergebnisse. Bezogen auf das Geschlecht stimmten die männlichen Probanden häufiger überein. Das Alter war nachrangig. Von den drei in der Untersuchung verwendeten handelsüblichen Farbringsystemen wies das Vitapan-3D-Master-System insgesamt die höchste Reproduzierbarkeit auf.

Tag der mündlichen Prüfung: 31.08.2009

**Diese Dissertation ist in Dankbarkeit meinen Eltern und meinem Mann Oliver
gewidmet.**

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung und Problemstellung	1
2	Literaturübersicht.....	3
2.1	Farbenlehre	3
2.2	Was ist Farbe?	4
2.2.1	Farbraum und Zahnfarbraum	5
2.2.2	Farbsysteme	6
2.2.2.1	Munsell-Color-System.....	6
2.2.2.2	DIN-System	7
2.2.2.3	CIE-L*a*b*-System	8
2.2.3	Metamerie	9
2.3	Das menschliche Auge	10
2.3.1	Farbwahrnehmung	12
2.3.2	Farbsinnstörungen	12
2.3.3	Farbsehtests	14
2.4	Aufbau natürlicher und künstlicher Zähne	15
2.5	Einflussfaktoren bei der Farbauswahl	19
2.5.1	Exogene Einflüsse	20
2.5.2	Objektbedingte Einflüsse.....	21
2.6	Visuelle Farbbestimmung.....	22
2.6.1	Methodik bei der Farbauswahl	22
2.6.2	Farbringsysteme.....	24
2.6.2.1	Chromaskop.....	26
2.6.2.2	Vitapan-classical.....	27
2.6.2.3	Vitapan-3D-Master	28
2.7	Instrumentelle Farbbestimmungsverfahren	30

2.8	Studien zur visuellen Farbauswahl	33
3	Eigene Untersuchungen	36
3.1	Visuelle Farbbestimmung Keramikmuster	36
3.1.1	Material.....	36
3.1.1.1	Auswahl der Farbmuster aus den Farbringssystemen	36
3.1.1.2	Herstellung der Keramikveneers	38
3.1.2	Methode	42
3.1.3	Auswertung und Statistik.....	44
3.2	Visuelle Farbbestimmung Echtzahn	45
3.2.1	Material.....	45
3.2.2	Methode	45
3.2.3	Auswertung.....	46
4	Ergebnisse.....	47
4.1	Farbproduktionsergebnisse der Keramikmuster	47
4.1.1	Treffer aller Probanden.....	47
4.1.1.1	Trefferquoten der Probanden nach Geschlecht.....	48
4.1.1.2	Trefferquoten der Probanden nach Beruf	49
4.1.1.3	Trefferquoten der Probanden nach Alter	50
4.1.2	Farbtüchtigkeit der Probanden.....	52
4.1.2.1	Rot-Grün-Farbensehen differenziert nach Geschlecht	52
4.1.2.2	Rot-Grün-Farbensehen differenziert nach Alter	53
4.1.2.3	Rot-Grün-Farbensehen nach Berufsgruppen	54
4.1.2.4	Trefferquoten der Probanden in Bezug zur Farbtüchtigkeit	54
4.2	Farbproduktionsergebnisse natürlicher Zahn	56
4.2.1	Farbproduktionsergebnisse aller Probanden.....	56
4.2.2	Ergebnisse der Probanden nach Geschlecht	58
4.2.3	Ergebnisse der Probanden nach Beruf	61
4.2.4	Ergebnisse der Probanden nach Alter.....	64
5	Diskussion	68
5.1	Diskussion der Methode	68

5.2	Diskussion der Ergebnisse.....	72
5.2.1	Probandenversuch.....	72
5.2.2	Handhabung der Farbringsysteme	73
5.2.3	Keramikmuster	74
5.2.4	Echtzähne.....	75
5.2.5	Allgemeine Bewertung	75
5.3	Schlussfolgerungen.....	76
6	Zusammenfassung	79
7	Literaturverzeichnis	81
8	Anhang.....	I

1 Einleitung und Problemstellung

Bei der Anfertigung neuen Zahnersatzes erwarten die Patienten nicht nur eine zuverlässige Funktion ihrer neuen Krone, Brücke oder Prothese und deren gute biologische Verträglichkeit, sondern sie stellen auch hohe Ansprüche an die Ästhetik der Restauration. Der Zahnersatz sollte nicht als solcher zu erkennen sein und möglichst natürlich erscheinen. Neben Faktoren, wie Form und Oberflächengestaltung, wird die ästhetische Wirkung im besonderen Maß von der Zahnfarbe bestimmt.

Die Bestimmung der Zahnfarbe am Patienten wird von vielfältigen, häufig veränderlichen Faktoren beeinflusst. Anzuführen sind hier materialbedingte, wahrnehmungsphysiologische, und umgebungsabhängige Faktoren. Durch diese Einflussfaktoren ist es auch mit den heute zur Verfügung stehenden Mitteln nicht einfach, die genau passende Zahnfarbe zu bestimmen. Bedingt durch Farbdifferenzen zwischen neuer prothetischer Versorgung und der natürlichen Restbezaehlung, besonders im Bereich der Frontzähne, können Nachbesserungen oder Neuanfertigungen notwendig werden. Die fehlerhafte Farbbestimmung wird hier oft als Ursache vermutet [79].

In dieser Arbeit wurde die Treffsicherheit der visuellen Farbbestimmung vergleichend mittels dreier Farbringsysteme (Vitapan-classical, Chromaskop und Vitapan-3D-Master) untersucht. Die visuelle Farbbestimmungsfähigkeit wurde in verschiedenen Berufs- und Altersgruppen verglichen. An der Studie nahmen Zahnärzte, Zahnarthelferinnen und Studierende der Zahnmedizin beiderlei Geschlechts teil. Im Besonderen sollte bewertet werden, welchen Einfluss die Berufserfahrung und die Farbtüchtigkeit der Probanden auf das Untersuchungsergebnis hatte und ob das Geschlecht sowie die Zugehörigkeit zu einer bestimmten Altersgruppe relevant war. Ein weiteres Ziel der vorliegenden Studie war es, die

drei industriell gefertigten konfektionierten Farbringsysteme (Vitapan-classical, Vitapan-3D-Master, Chromaskop), mit denen die Farbbestimmungen erfolgten, bezüglich ihrer Reproduzierbarkeit zu vergleichen. Im ersten Untersuchungsteil wurde die Reproduzierbarkeit der Zahnfarbbestimmung mittels einer Laborversuchsreihe überprüft. Um einen klinischen Vergleich zu den standardisierten Rahmenbedingungen des ersten Versuchsteils zu erhalten, wurde im zweiten Teil der Untersuchungsreihe der visuelle Farbgleich von den Probanden entsprechend einer alltäglichen Behandlungssituation am Patienten vorgenommen.

2 Literaturübersicht

2.1 Farbenlehre

Aristoteles diskutierte die wechselseitigen Beziehungen von Licht und Farbe bereits 300 Jahre vor Christus, dennoch blieb das Phänomen der Farbe lange Zeit ein großes Rätsel für die Menschheit. Erst **Isaac Newtons** (1643-1727) Entdeckung, dass das Licht die Quelle aller Farben darstellt, gab der Naturwissenschaft Anlass, sich mit ernsthaften Analysen über die Welt der Farben zu beschäftigen [32]. **Newton** beschrieb 1666 die Aspekte der Farben und ihrer Wahrnehmung aus naturwissenschaftlicher Sicht, wohingegen die vom Dichter und Forscher **Goethe** entwickelte Farbenlehre weniger eine physikalische Theorie der Beschreibung des Wesens des Lichtes, als vielmehr eine Theorie der Sinneswahrnehmung von Licht und Farben war. So betont **Goethe** im „Didaktischen Teil“ seiner Arbeit: *„Das Auge hat sein Dasein dem Licht zu danken. Aus gleichgültigen tierischen Hilfsorganen ruft sich das Licht ein Organ hervor, das seines gleichen werde; und so bildet sich das Auge am Lichte fürs Licht, damit das innere Licht dem äußeren entgegentrete.“* **Goethe** arbeitete über zwei Jahrzehnte an seiner Farbentheorie. **Goethes** Farbenlehre erschien in drei Teilen von 1808 bis 1810 [24].

Zahlreiche Wissenschaftler des 19. Jahrhunderts äußerten sich zur Farbwahrnehmung. Ende dieses Jahrhunderts gelang dann der Nachweis dreier verschiedener Farbsinneszellen in der Netzhaut. Um 1850 unterstützte diese physiologische Entdeckung die Dreifarbenlehre oder Trichromatische Theorie zur Farbwahrnehmung im Auge, die maßgeblich von **Hermann von Helmholtz**, basierend auf einer älteren Theorie von **Thomas Young** entwickelt wurde. **Von Helmholtz** hatte beobachtet, dass man aus farbigem Licht dreier Primärfarben jede andere

beliebige Farbe mischen kann. Eine weitere historische Theorie zur Wahrnehmung der Farben im menschlichen Auge, die Gegenfarbtheorie, wurde 1878 von **Karl Ewald Konstantin Hering** veröffentlicht. **Hering** ging von der Erfahrung aus, dass es keine Mischfarben gibt, die man als „rötliches Grün“ oder „gelbliches Blau“ bezeichnen kann. Er vermutete deshalb drei getrennte chemische Prozesse in der Netzhaut mit je zwei Gegenfarben, nämlich Blau-Gelb und Rot-Grün sowie Schwarz-Weiß [15, 25].

Auch in der Zahnheilkunde war „Farbe“ schon immer wichtig. Begriff und Bestimmung waren jedoch weithin unklar und persönlichen Interpretationen unterworfen. Die Zahnfarbbestimmung in Verbindung mit der Erwartung des Patienten kann sich so zum Problem entwickeln und gar, wie **Turner** es 1928 formulierte, zur „artistischen Leistung“ werden [73]. Dem hohen künstlerischen Anspruch einer guten Farbnahme steht heute jedoch eine universitäre zahnmedizinische Ausbildung gegenüber, die in Bezug auf Farblehre und Farbwahl noch nicht annähernd zufriedenstellend ist [16, 68]. So hing es bisher häufig vom Naturtalent und der Erfahrung des Zahnarztes ab, inwieweit die Farbe eines Zahnersatzes so bestimmt wurde, dass er nicht als künstlich auffiel. Dass die große Kunst, eine Zahnfarbe korrekt zu reproduzieren und zu bestimmen, erlernbar ist, zeigt eine spezielle Trainingsmethode, die an der Universität Leipzig von Mitarbeitern um **Jakstat** in Zusammenarbeit mit der VITA-Zahnfabrik (Bad Säckingen, Deutschland) erarbeitet wurde. Mit dem „Toothguide Trainer“ können die Studenten Trainingsprogramme absolvieren, die die Treffsicherheit bei der Farbnahme um bis zu 33 Prozent verbessern [35, 34].

2.2 Was ist Farbe?

Die Wahrnehmung von Farben wird dadurch ermöglicht, dass alle nicht selbst leuchtenden Körper bestimmte Anteile der Wellenlängen des auftreffenden Lichtes absorbieren, transmittieren oder reflektieren. Die Farbe eines Körpers ist also keine Körpereigenschaft, sondern eine Sinneswahrnehmung des menschlichen Auges. Die Farbempfindung wird durch verschiedene Faktoren beeinflusst. Dazu gehören die Lichtverhältnisse in der Umgebung, der

Betrachtungswinkel und die Oberflächenstruktur eines Objektes. Von ebenso entscheidender Bedeutung sind die augenblickliche Verfassung, Ermüdung, Stimmung und Gewöhnung, sowie das Alter und die Erbanlagen des Betrachters [57].

Das menschliche Auge ist in der Lage, rund sieben Millionen verschiedene Farbeindrücke, sogenannte Farbvalenzen (sinnesphysiologisch äquivalente Farben) wahrzunehmen.

Die Farbvalenzen lassen sich unterscheiden in „bunte“ und „unbunte“ Farben, welche die Skala zwischen schwarz und weiß bilden.

Ein Farbunterschied ist nach DIN 5033 „die Gesichtsempfindung, durch die sich zwei aneinandergrenzende, strukturlose Teile durch das menschliche Auge bei einäugiger Betrachtung unterscheiden lassen [17].“

2.2.1 Farbraum und Zahnfarbraum

Neben der individuellen Wahrnehmung sind Farben durch ihr Spektrum physikalisch eindeutig definierbar und werden in einem dreidimensionalen Modell beschrieben – dem Farbraum [83]. Der Bereich des sichtbaren Lichts erstreckt sich vom langwelligen roten Licht (780 nm) bis zum kurzwelligen violetten Bereich (380 nm). Im Zahnfarbraum liegen die Zahnfarben als Gelb-Rot-Farbtöne im oberen Helligkeitsbereich. Dieser kleine Ausschnitt des Gesamtfarbraumes ähnelt in seiner Form einer aufrecht stehenden Banane [77].

Im Laufe der Zeit wurden diverse Farbordnungssysteme aufgestellt, um die Farben und Farbvalenzen zu systematisieren. Pioniere auf diesem Gebiet waren zum Beispiel **Johann Heinrich Lampert** (1772, Farbenpyramide) und **Philipp Otto Runge** (1810, Farbkugel), in neuerer Zeit **Wilhelm Ostwald** (1963, Doppelkegel) und **Manfred Richter** (1950, DIN-Farbenkarte) [1, 69]. Der amerikanische Maler **Albert Munsell** entwickelte 1915 das weltweit am weitesten verbreitete Farbordnungssystem [48, 69].

2.2.2 Farbsysteme

2.2.2.1 Munsell-Color-System

In dem Klassifikationssystem nach Albert Henri Munsell wird Farbe als unregelmäßiges dreidimensionales, kugeliges Gebilde beschrieben, das an einen Baum erinnert. Dieser sogenannte Munsell-Farbkörper ist so konstruiert, dass sich der Helligkeitswert einer Farbe entlang eines Stammes darstellt, ihr Farbton als Kreis um die Krone und ihre Sättigung als Position entlang eines Astes. Auf der vertikalen Achse befinden sich die verschiedenen Grauwerte von schwarz (unten) bis weiß (oben). Alle Farben mit dem gleichen Helligkeitswert liegen jeweils in derselben senkrecht zur Grauachse stehenden horizontalen Ebene. Die Farben sind mit zunehmender Farbsättigung innerhalb dieser Helligkeitsebenen immer weiter von der vertikalen Achse entfernt. Die Abstufung von einem Farbton zum nächsten erfolgt empfindungsmäßig. Im Munsell-System kann jede Farbe über drei Parameter genau definiert werden:

1. *Helligkeit (Value)*

Sie stellt die Graustufen von 0 - 10 dar. 0 entspricht dabei schwarz und 10 weiß.

2. *Farbintensität (Chroma)*

Durch die Sättigung wird eine schwache von einer starken Färbung unterschieden. Sie kann Werte zwischen 1 und 18 einnehmen.

3. *Farbton (Hue)*

Kodierung R-rot, Y-gelb, G-grün, P-lila, sowie einer Graduierung von 1 - 10

2.2.2.2 DIN-System

Entstanden ist das DIN-Farbsystem nach dem zweiten Weltkrieg bei dem Versuch, die Farben im Zahnfarbraum empfindungsmässig gleichabständig anzuordnen. Das System beruht im Wesentlichen auf Vereinbarungen und Empfehlungen der Internationalen Beleuchtungskommission (CIE). Auch hier werden die drei Grundparameter der Farbe, dem Munsell-System vergleichbar, verwendet. Es gibt 10 Dunkelstufen, 16 Sättigungsstufen und 24 Bunttonstufen. Der Farbton Gelb entspricht der Buntzahl 1, der Ton Grün erhält die Buntzahl 22. Die Farbtöne laufen um eine senkrechte Helligkeitsachse. Deren höchste Dunkelstufe 10 entspricht Schwarz und deren oberster Punkt Weiß entspricht der Dunkelstufe 0. Die Farbsättigung nimmt von innen nach außen zu. Mit Hilfe der sogenannten DIN-Farbenkarte sind Farbvergleiche wie beim Munsell-System möglich [18, 53, 25].

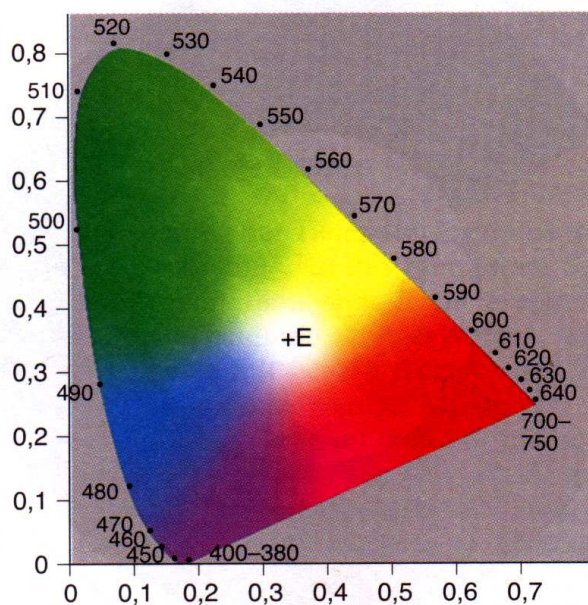


Abb. 1: Normfarbtafel mit Buntton- und Sättigungslinien des DIN-Farbensystems [15]

2.2.2.3 CIE-L*a*b*-System

In Europa wird in der Industrie nicht das DIN-System, sondern das 1976 von der Internationalen Beleuchtungskommission herausgegebene CIE-L*a*b*-System angewandt. Dieses System wurde auch in der vorliegenden Untersuchung verwendet. Ähnlich, wie andere Farbsysteme hat auch dieses Farbsystem einen dreidimensionalen Aufbau, der im Wesentlichen einer Kugel entspricht.

Die Helligkeitsachse wird hier als L^* bezeichnet, deren oberster Punkt dem Wert 100/Weiß entspricht. Der Wert 0/Schwarz wird dem untersten Punkt der Helligkeitsachse zugeordnet. Um die Helligkeitsachse sind die unterschiedlichen Farbtöne ringartig angeordnet. Diese Achse wird von der mit a^* bezeichneten Rot-Grün-Achse und der senkrecht dazu stehenden mit b^* bezeichneten Gelb-Blau-Achse durchlaufen. Dem Farbton Gelb entspricht ein positiver Wert für b^* . Dem Farbton Rot entspricht ein positiver Wert für a^* . Diese drei Koordinaten machen es möglich, die dreidimensionale Lage einer Farbe in dem System zu beschreiben und den Abstand zweier Farben im Farbraum zu bestimmen und zu bewerten [6, 7, 31].

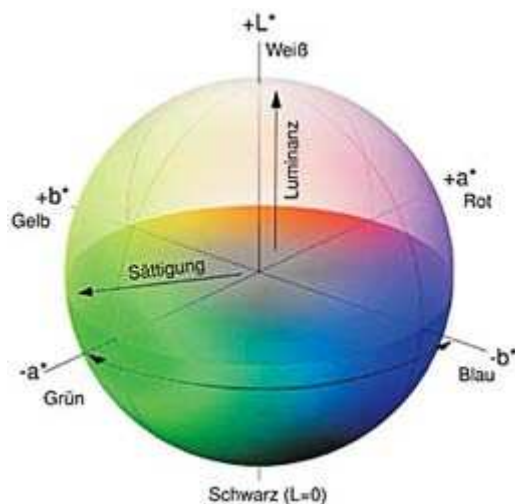


Abb. 2: CIE-L*a*b*-System

2.2.3 Metamerie

Hinterlassen zwei unterschiedliche Farben unter gleichen äußeren Beleuchtungs- bzw. Lichtverhältnissen beim Betrachter denselben Farbeindruck (gleiche Farbvalenz), bezeichnet man dieses Phänomen als Metamerie [33]. Verändert man hingegen die Beleuchtungsverhältnisse und damit die spektrale Zusammensetzung des Lichtes, werden die Farben vom Betrachter nicht mehr als identisch angesehen. Farben, die solche Eigenschaften aufweisen, werden als metamere (bedingt-gleiche) Farben bezeichnet.

Als unbedingt-gleiche Farben werden jene Farben bezeichnet, die bei allen Beleuchtungsverhältnissen gleich erscheinen. Sie besitzen dieselbe spektrale Zusammensetzung und ein dadurch bedingt gleiches Absorptionsvermögen. Der Grund hierfür liegt in der unterschiedlichen physikalisch-chemischen Beschaffenheit der Farbpigmente. Bei der Erstellung einer zahnfarbenen Restauration kann das Phänomen der Metamerie es daher dem Betrachter erschweren, eine vorhandene Zahnfarbe zu reproduzieren [6, 7, 31, 69].

2.3 Das menschliche Auge

Das Auge ist ein visuelles Sinnesorgan und wird als dioptrischer Apparat bezeichnet. Der Augapfel besteht aus den mit Kammerwassern gefüllten Augenkammern, der durchsichtigen Hornhaut (Cornea), der die Pupille bildenden Iris, dem Glaskörper, der Linse und der Netzhaut (Retina). Am hinteren Pol des Auges befindet sich eine Grube (Fovea centralis) [59]. Sie ist die Zone des schärfsten Sehens.

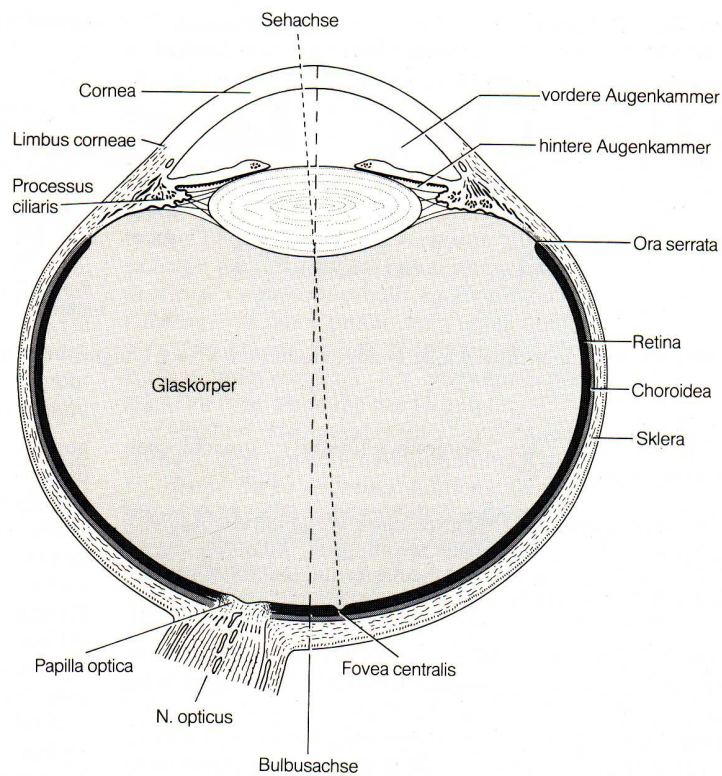


Abb. 3: Aufbau des Augapfels [59]

Die Netzhaut ist mit Lichtsinneszellen (Photorezeptoren) ausgestattet. Die Netzhaut des Menschen besitzt etwa sechs Millionen tageslichtempfindliche Zapfenrezeptoren und etwa 120 Millionen dämmerungsempfindliche Stäbchenrezeptoren [15, 25].

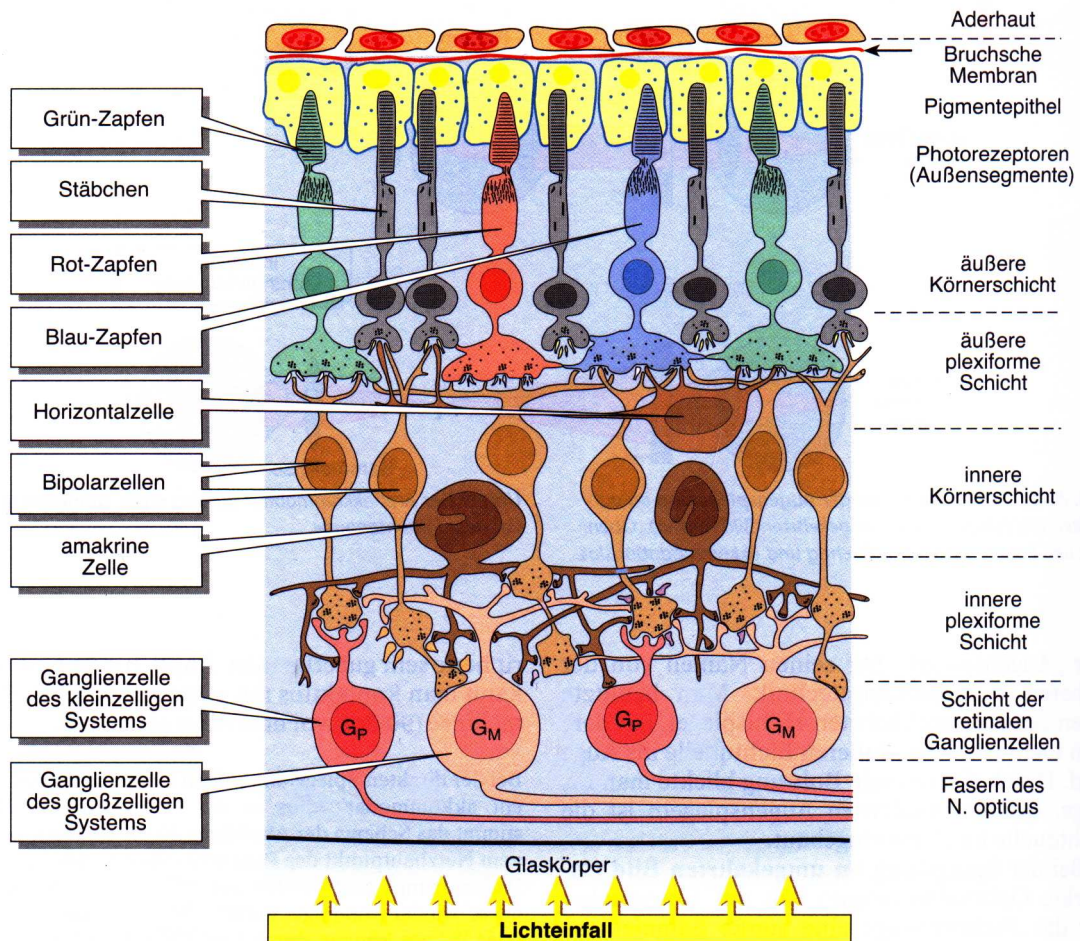


Abb. 4: Aufbau der Netzhaut [15]

2.3.1 Farbwahrnehmung

Der Farbreiz, der von einem nicht selbst leuchtenden Körper ausgeht, wird durch selektive Absorption und Reflexion des beleuchteten Objektes erzeugt. Er ist somit von dem Körper selbst und von der spektralen Zusammensetzung der Lichtquelle abhängig. Die daraus resultierende Körperfarbe ist also keine Körpereigenschaft, sondern eine Sinneswahrnehmung. Der Weg vom Lichtreiz bis zur Sinneswahrnehmung geht dabei von der Lichtquelle über den absorbierenden Körper zum Auge. Der Körper absorbiert spezifisch und selektiv Licht aus dem beleuchtenden Spektrum und verändert das emittierte Licht in seiner spektralen Zusammensetzung.

Vom menschlichen Auge kann Licht nur mit Wellenlängen zwischen 380 und 780 Nanometer wahrgenommen werden. Die Farbwahrnehmung beruht auf der Fähigkeit des Auges, Helligkeiten verschiedener Wellenlängen als Farben wahrzunehmen und voneinander zu differenzieren.

Die Young-/v.-Helmholtz-Theorie basiert hauptsächlich auf den von Newton entdeckten physikalischen Gesetzmäßigkeiten der Farbmischung, nach denen man aus den drei Spektralfarben Rot, Grün und Blau alle für den Menschen erkennbaren Farbnuancierungen erzeugen kann. Sie setzt die Existenz von drei verschiedenen Rezeptoren voraus.

Nach der Duplizitätstheorie registrieren die Stäbchen der Netzhaut das Hell- und Dunkelsehen und die Zapfen das Farbsehen. Die Zapfen sind nur bei höheren Lichtintensitäten erregbar. Sie befinden sich vornehmlich im Gesichtsfeldzentrum. Hier ist die Farbwahrnehmung am besten. Zur Peripherie hin fällt die Fähigkeit zur Farbwahrnehmung ab und hört schließlich ganz auf [15, 25].

2.3.2 Farbsinnstörungen

Die Fähigkeit, Farben wahrzunehmen, ist keine konstante physiologische Größe. So werden bei den Störungen des Farbensinns angeborene von erworbenen Störungen unterschieden,

wobei die angeborenen Farbsinnstörungen den größten Teil der Defekte ausmachen. Bei angeborenen Farbsinnstörungen handelt es sich um eine vom ersten bis zum letzten Lebensjahr unbeeinflussbare Eigenschaft. Sie betrifft ungefähr 8 % der Männer und etwas weniger als 0,5 % der Frauen [16, 74, 78]. Es werden vereinfacht folgende Typen von **angeborenen** Störungen unterschieden:

Monochromasie (Achromasie, totale Farbenblindheit): Der Monochromat unterscheidet nur Varianten zwischen Schwarz und Weiß, vergleichbar der Schwarzweiß-Photographie. Bunte Farben werden also nicht erlebt, sondern erscheinen als Grauvarianten.

Dichromasie (Zweifarbensehen): Für diese Abweichung wird meistens ungenau und oberflächlich der Laienausdruck „Farbenblindheit“ verwendet, weil sie die weitaus häufigste ist. Der Betroffene erlebt nur zwei Farbengruppen, nämlich entweder ein Braungelb (Abweichung bis Schwarz und Weiß) und ein Blau oder Rot und Grün. Die Dichromasie tritt in drei Untergruppen auf.

- Protanopie („Rotblindheit“)
- Deuteranopie („Grünblindheit“)
- Tritanopie („Blaublindheit“)

Anomale Trichromasie (anomales Dreifarbensehen): Es werden sehr viele Farben aus allen Bereichen erlebt, aber eine der drei Komponenten ist unterwertig. Um in einer Mischung von Farben das gleiche Farbenerlebnis zu haben wie der normale Farbentüchtige, muss der anomale Trichromat von der Farbe, für die sein Farbsehen unterwertig ist, mehr hinzufügen. Dem Farbentüchtigen erscheint eine solche Mischung des Farbenuntüchtigen im Ergebnis mit einem entsprechenden „Farbstich“. Es werden drei Untergruppen der anomalen Trichromasie unterschieden:

- Protanomalie („Rotschwäche“),
- Deuteranomalie („Grünschwäche“),
- Tritanomalie („Blauschwäche“).

Erworbene Störungen des Farbensinns sind häufig anfänglich einseitig und oft mit einer herabgesetzten Sehschärfe vergesellschaftet. Sie lassen sich nur schwer in ein Schema zwängen, da sie alle Übergänge zwischen gutem Sehen und Blindheit beinhalten. Patienten mit erworbenen Farbsinnstörungen machen häufig Fehler im gesamten Farbkreis und lassen sich somit nicht einem Farberkennungsdefekt zuordnen [51].

Temporäre selektive Farbsinnstörungen beruhen oft auf chronischen Vergiftungen durch Langzeitapplikation oder Missbrauch von Arzneimitteln (Sedativa, Antirheumatika, Hypnotika, Appetitzügler), von Genussmitteln (Nikotin, Alkohol) sowie nach Exposition gegenüber chemischen Noxen (z. B. Blei). Farbsinnstörungen können auch ein Frühsymptom bei chronischen Lebererkrankungen sein [53, 74]. Eine weitere beschriebene Problematik ist die reversible, gehäuft festgestellte Farbsehstörung bei hormoneller Kontrazeption [42].

2.3.3 Farbsehtests

Methoden zur Feststellung von Farbsinnstörungen existieren in großer Anzahl. Ein einfaches Verfahren für die Feststellung von Farbsinnstörungen bieten die pseudoisochromatischen Farbtafeln. Beispiele für diese Tafeln sind die Farbtafeln nach Stilling-Hertel-Velhagen, von Ishihara sowie von Hardy-Rand-Ritter. Diese Tafeln enthalten Optotypen, die aus Farbflächen in Verwechslungsfarben mit gleichen Helligkeitswerten, aber verschiedenen Farbtönen und verschiedenen Farbsättigungen zusammengesetzt sind [51]. Den Tafeln sind genaue Hinweise für die Anwendung und Diagnostik beigegeben.

Eine weitere Möglichkeit das Farbsehvermögen zu testen, bieten computergesteuerte optische Diagnosegeräte, wie etwa das von der Firma Oculus in Wetzlar entwickelte Anomaloskop. Dieses Messgerät ermöglicht eine sehr genaue und quantitative Analyse des Farbsehvermögens. Die Prüfung erfolgt in 3 - 5 Minuten schmerzfrei und schnell [78].

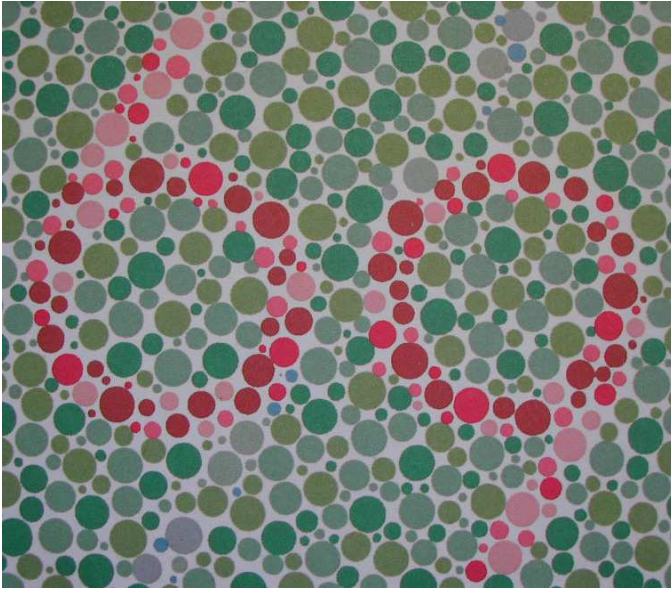


Abb. 5: Beispiel einer Farbtafel nach Velhagen und Broschmann [75]

2.4 Aufbau natürlicher und künstlicher Zähne

Ein *natürlicher Zahn* besteht aus der Zahnkrone, die sichtbar in die Mundhöhle ragt, und einer oder mehreren Wurzeln, die im Kieferknochen liegen. Die spezifischen Strukturmerkmale der verschiedenen Zahnhartsubstanzen tragen wesentlich zum entstehenden Farbeindruck bei.

Der **Schmelz**, die äußere Schicht der natürlichen Zähne, enthält bis zu 98 Gew.% anorganische Substanzen, hauptsächlich Hydroxylapatit. Der ausgereifte Zahnschmelz ist die härteste Substanz im menschlichen Körper. Schmelz ist zellfrei und setzt sich aus Schmelzprismen zusammen, die durch eine interprismatische Kittsubstanz zusammengefügt sind [59]. Da die Schmelzprismen in den inneren zwei Dritteln des Schmelzmantels nicht geradlinig verlaufen, werden im Schliff Schmelzprismen längs und quer getroffen. Bei polarisationsmikroskopischer Betrachtung des Schliffes erscheinen die längsgeschnittenen Schmelzprismen im auffallenden Licht hell, im durchfallenden Licht dunkel. Die längsgetroffenen Schmelzprismen bezeichnet man als Parazonien. Die quergetroffenen

Prismen werden als Diazonien bezeichnet; sie wirken im auffallenden Licht dunkel und im durchfallenden Licht hell. In Quer- oder Längsschliffen entsteht so ein Muster von hellen und dunklen Streifen (Abstand ca. 50 μm) in den inneren zwei Dritteln des Schmelzes, die als *Hunter-Schregersche-Streifung* bezeichnet wird. Die *Retzius-Streifen* verlaufen schräg von der Schmelz-Dentin-Grenze nach okklusal durch den Schmelz zur Zahnoberfläche. Sie sind als Wachstumslinien anzusehen, die durch rhythmisches Verkalken des Schmelzes während seiner Entwicklung entstehen [56].

Der größte Anteil des menschlichen Zahnes besteht aus **Dentin**. Das Dentin hat eine chemische Zusammensetzung von 70 Vol.% anorganischen Substanzen, 20 Vol.% organischer Matrix und 10 Vol.% Wasser. Das Dentin ist charakteristischerweise von Dentinkanälchen durchzogen, die von der Zahnpulpa ausgehend nach außen verlaufen. Ihre Dichte nimmt von innen nach außen ab. Beim jungen Menschen finden sich ca. 64000 Dentinkanälchen / mm^2 in der Nähe der Pulpa und ca. 16000 Dentinkanälchen / mm^2 im Bereich der Schmelz-Dentingrenze. In den Kanälchen befinden sich die Odontoblastenfortsätze, die das Manteldentin, das intertubuläre, sowie das zirkumpulpale Dentin bilden. Das Dentinwachstum findet dabei nach innen statt, die Dentinschicht wird dicker, das Pulpakavum enger [9, 59, 56].

Die **Pulpa** besteht aus gut vaskularisiertem und innerviertem Bindegewebe. Sie befindet sich in der Pulpakammer, einem von Dentin begrenzten Raum im Zahninneren. An der Dentingrenze liegen die Odontoblasten. Ihre Fähigkeit, Dentin zu bilden, bleibt auch nach Ausreifung der Zahnhartsubstanzen erhalten. So kann auf unphysiologische Reize von außen, wie Abrasion oder Karies im Bereich dieser Reizeinwirkung, Tertiärdentin (Reizdentin) gebildet werden [30, 59, 56].

Da speziell im sichtbaren Bereich nicht nur die Funktionalität eines Zahnersatzes, sondern besonders ein ästhetisch befriedigendes Ergebnis anzustreben ist, muss die individuelle natürliche Zahnfarbe mit den Ersatzmaterialien möglichst exakt reproduziert werden. Die Schwierigkeit besteht zum einen darin, den richtigen Farbton, die Helligkeit und Intensität des

künstlichen Zahnes dem Restgebiss anzupassen und zum anderen die lichteoptischen Eigenschaften der natürlichen Zahnhartsubstanz nachzuempfinden [69]. So ist die Transluzenz des Schmelzes größer als die des Dentins. Zur Erzielung einer lebhaften, aus der Tiefe heraus wirkenden Restauration werden Verblendmassen in verschiedenen Schichtungstechniken verarbeitet. Grundsätzlich wird unterschieden zwischen:

Kronen mit Kunststoffverblendungen

Diese sind für festsitzende Kronen- und Brückenarbeiten eher selten geworden. Bis vor einigen Jahren war man ausschließlich auf mechanische und mikromechanische Retentionen für einen Verbund zwischen dem Metallgerüst und der Kunststoffverblendung angewiesen (Retentionssperlen, Sandstrahlen, Ätzen in einem geeigneten Elektrolyt o. ä.). Zwar wurden inzwischen etliche Verfahren entwickelt, die einen chemischen Verbund zwischen dem Gerüst und dem Kunststoff anstreben, (z. B. Silanisierung der Legierungsoberfläche) dennoch ist das Material besonders im Bereich der Kauflächen nur bedingt geeignet. Es unterliegt einer zu schnellen Abrasion. Ein weiterer Mangel ist die häufig rasche Alterung durch physikalische, chemische und mechanische Einwirkungen. Der Farbeffekt wird besonders durch eine exogene Farbstoffaufnahme beeinflusst. Nahrungsfarbstoffe aus Tee, Kaffee oder Rotwein kommen hier ebenso in Betracht wie Nikotin und Dentalhygienika (z. B. Chlorhexidin) [44, 43].

Kronen mit Keramikverblendungen

Die keramischen Verblendmaterialien haben sich aufgrund der Nachteile, die den Kunststoffverblendungen anhaften, in den letzten Jahrzehnten immer mehr durchgesetzt. Kronenversorgungen können vollkeramisch oder als metallkeramische Verblendkronen gestaltet werden. Die VMK-Krone verbindet eine gute Mundbeständigkeit, Biokompatibilität und gute Ästhetik der keramischen Verblendmassen mit dem guten Randschluss des Metallgerüsts. Das keramische Material geht im Gegensatz zum Kunststoff während des Brennvorganges durch eine Metalloxidschicht eine direkte Verbindung mit der Metalllegierung ein [44, 43].

Keramikkronen

Die Imitation natürlicher Zähne gelingt ästhetisch am besten, wenn die Zahnkrone bei der Versorgung des Stumpfes ausschließlich aus Keramik besteht. Die keramischen Werkstoffe entsprechen mit ihren lichteoptischen Eigenschaften am besten den Werten der natürlichen Zahnhartsubstanzen Schmelz und Dentin.

Die Hauptbestandteile der dentalkeramischen Massen sind:

- Feldspat: 60 - 80 M %
- Quarz: 15 - 25 M %
- Kaolin: 0 - 5 M % [44].

Um die Lichtdurchlässigkeit des natürlichen Zahnes zu imitieren, werden bei der Fertigung einer Vollkeramikkrone Massen mit unterschiedlicher Transluzenz geschichtet. **O'Brien** et al. [50] fanden heraus, dass die Erscheinung einer keramischen Restauration hauptsächlich das Ergebnis diffuser Reflexion aus einer transluzenten Schicht ist, die über einer opaken Schicht liegt. Damit der Hintergrund der keramischen Massen deren transluzente Wirkung nicht beeinflusst, wird eine Schichtstärke von etwa 6 mm benötigt. Dieser Wert wird auch als „unendliche optische Stärke“ bezeichnet. Die durchschnittliche Stärke der transluzenten Grundmasse einer Keramikkrone beträgt hingegen etwa 1 mm [4, 50]. Eine Keramikkrone wird aus den nachfolgend beschriebenen Massen geschichtet:

- 1) *Opake Kernmasse*, damit der Befestigungszement nicht durchscheint bzw. das Metallgerüst abgedeckt wird. Die mechanische Festigkeit wird durch Zufügung von Trübungsmitteln (häufig Al_2O_3) verbessert.
- 2) Mit der *Dentinmasse* wird die ausgewählte Zahnfarbe imitiert. Sie ist der eigentliche Farbträger für die einzelnen Zahnbereiche.
- 3) Die *Schmelzmasse* erzeugt die oberflächliche Transluzenz. Die Lichtdurchlässigkeit ist im Bereich der Schneidekante oft besonders stark ausgeprägt und wird hier mit Hilfe von Glasklarmassen nachgeahmt.

- 4) *Effektmassen* werden zur individuellen Gestaltung verwendet. Mit ihnen können z. B. Farbabweichungen im Zahnhalsbereich, Kalkflecken, Haarrisse u. ä. imitiert werden [44].

Die Keramikproben, die in dieser Untersuchung verwendet wurden, sind ohne Metallgerüst angefertigt worden und entsprechen so am ehesten einer vollkeramischen Restauration.

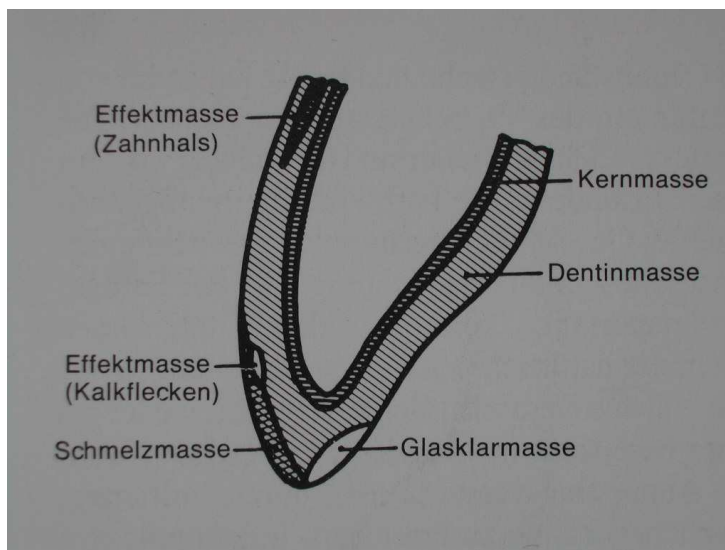


Abb. 6: Schichtung einer Vollkeramikkrone [44]

2.5 Einflussfaktoren bei der Farbauswahl

Das menschliche Auge ist als Sinnesorgan für fast 70 % aller unserer Farbempfindungen verantwortlich [32]. Das Sehorgan funktioniert bei mehr als 90 % aller Menschen einwandfrei, das heißt diese Personen sind farbtüchtig [69]. Physiologische und pathologische Veränderungen im Sehorgan eines Farbnehmers können einen entscheidenden Einfluss auf die Farbwahrnehmung haben. **Barna** stellte 1981 in einer Studie fest, dass das Farbdifferenzierungsvermögen bei Zahnärzten mit einer festgestellten Farbsehschwäche deutlich schlechter ist als bei farbtüchtigen Behandlern [3]. Bei der visuellen Farbbestimmung

spielen neben diesen individuellen Farbpfindungsstörungen vor allem *exogene* Faktoren des Umfeldes bei der Farbauswahl eine wichtige Rolle sowie *objektbedingte* Faktoren, die in der Besonderheit des zu bewertenden Betrachtungsgegenstandes „Zahn“ liegen.

2.5.1 Exogene Einflüsse

Die *Beleuchtungsverhältnisse* im Behandlungszimmer können den Behandler bei der Farbauswahl deutlich beeinflussen. Ist die Beleuchtung zu schwach oder zu intensiv, sind Farbdifferenzen weniger deutlich wahrzunehmen und zu unterscheiden. Die verwendete Beleuchtung sollte ein neutrales Spektrum aufweisen. Die spektrale Zusammensetzung des vom beleuchteten Objekt re- und transmittierten Lichtanteils und somit des wahrgenommenen Farbeindruckes ist abhängig von der Beleuchtungssituation. Als Optimum für die Farbpfindung wird die natürliche Mittagssonne (Nordlicht) ohne direkte Sonneneinstrahlung definiert [21]. Für Kunstlicht ist in Deutschland die Lichtart D65 (DIN 6173) als Normlicht festgesetzt. Das Licht entspricht mittlerem Tageslicht in Europa (D: daylight), das eine Farbtemperatur von 6500 Kelvin aufweist.

Beim Erkennen einer Farbe ist weiter das *Umfeld* von entscheidender Bedeutung. Identische Farben erscheinen vor verschiedenen farbigen Hintergründen als ungleich (Simultankontrast). Bedingt durch einen Anpassungsmechanismus des Auges (Adaptation) wirkt der gleiche Farbton auf dunklem Untergrund heller und auf hellem Untergrund dunkler.

Auch der *Betrachtungswinkel* und die *Betrachtungsdauer* spielen eine wichtige Rolle. Lange Betrachtungszeiten sollten vermieden werden, da das Auge ermüdet und eine zu lange Betrachtung Nachbilder erzeugt [21, 32].

2.5.2 Objektbedingte Einflüsse

Die Form- und Oberflächenstruktur eines Zahnes oder einer Restauration hat deutlichen Einfluss auf die Zahnfarbe (z. B. matt, glänzend). So ist die Oberflächenstruktur eines natürlichen Zahnes nicht unerheblichen altersbedingten Abnutzungserscheinungen unterworfen. Die ausgeprägte Textur jugendlicher Zähne wirkt heller und opaker als die weniger ausgeprägte alter Zähne, die eher dunkel und glasig erscheinen [27, 28]. Der Grund hierfür ist in der diffusen Reflexion an rauen Oberflächen und in der gerichteten Reflexion an glatten Oberflächen zu sehen. Die Farbe eines natürlichen Zahnes ergibt sich aus seiner anatomischen Struktur. Der Bereich der Schneidekante besteht hauptsächlich aus Schmelz und erscheint dem Betrachter entsprechend durchscheinend. Diesen Effekt bezeichnet man als *Transparenz*. Die *Transluzenz* eines Zahnes entwickelt sich aus der inhomogenen Schichtung der verschiedenen Zahnschichten [13]. Hieraus resultieren innerhalb eines Zahnes unterschiedliche Reflexionsflächen. Die Variationen der Schichtdicken rufen an der Oberfläche einen Farbunterschied hervor. Bei transluzenten Körpern kann das Licht zu einem bestimmten Anteil eindringen. Die verschiedenen Transluzenzen werden durch eine unterschiedliche Anzahl an Trübungsmitteln (*Opazität*) hervorgerufen [32]. Der Farbeindruck entsteht also nicht nur an der Oberfläche eines Körpers, sondern wird durch das Maß bestimmt, mit dem das Licht in eine bestimmte Tiefe eindringen kann. Metalle sind zum Beispiel stark opake Körper, bei denen das Licht nicht in die Tiefe fallen kann. Es findet ausschließlich eine Oberflächenresorption statt [44].

2.6 Visuelle Farbbestimmung

Zur Zeit ist in der täglichen Praxis noch immer die konventionelle visuelle Farbbestimmung das Mittel der Wahl [62, 65]. Aufgrund der individuell unterschiedlichen Farbempfindung wäre es wünschenswert, auf metrische, objektive Verfahren zurückgreifen zu können. Die heute im Handel befindlichen Geräte zur instrumentellen Farbauswahl zeichnen sich zwar durch eine gute Reproduzierbarkeit aus, sind aber relativ aufwendig in der Handhabung und verursachen hohe Anschaffungskosten. Des Weiteren sind viele instrumentelle Systeme noch unausgereift. Im Rahmen der visuellen Farbbestimmung wird vom Behandler ein Farbvergleich zwischen dem zu versorgenden Zahn und einem industriell hergestellten Farbring durchgeführt. Das Farbringmuster mit der besten Übereinstimmung wird an den Zahntechniker übermittelt. Differenzierte Variationswünsche können dabei vom Behandler, beispielsweise über ein Farbkommunikationsschema, nachvollziehbar und reproduzierbar für den Zahntechniker bereitgestellt werden [77].

2.6.1 Methodik bei der Farbauswahl

Ziel der Zahnfarbenbestimmung am Patienten ist es, eine möglichst gut passende Farbe für die Restauration im Vergleich zur Zahnfarbe des restlichen Gebisses zu ermitteln. Um gute Ergebnisse zu erzielen, ist ein methodisches Vorgehen notwendig. Die folgenden aufgeführten Faktoren und die systematische Berücksichtigung dieser in der Literatur beschriebenen Empfehlungen sollen die Fehlermöglichkeiten bei der visuellen Farbauswahl verringern.

Zeitpunkt

Die Bestimmung der Zahnfarbe erfolgt vor Behandlungsbeginn. Das Auge des Behandlers ist nach der Sitzung ermüdet und die visuelle Wahrnehmungskraft geschwächt. Der Zahn soll von Plaque und oberflächlichen Verfärbungen befreit sein. Nach der Präparation ist der Zahn dehydriert und die Transluzenz herabgesetzt, dadurch erscheint der Zahn zu hell [8].

Licht

Nordlicht ist das optimale Licht zur Farbwahrnehmung. Dies ist das Licht mit gleichmäßiger Verteilung der spektralen Energie an einem klaren Tag. Die ideale Bedingung wäre, eine Zahnfarbe um 11.00 Uhr vormittags bei wolkenlosem Himmel auszuwählen. Dies lässt sich aber in der Praxis nicht immer erfüllen. Nach diesem Standard wurden von der Wissenschaft künstliche Lichtquellen erschaffen, die es erlauben, örtlich und zeitlich ungebunden eine Farbwahl vorzunehmen. Als Normlichtart einigte man sich auf D65 nach DIN 5033 mit einer Farbtemperatur von 6500 Kelvin [17]. Die Beleuchtungsstärke wird in der Maßeinheit Lux gemessen und sollte unter genormten Bedingungen bei 1000 - 2000 Lux liegen. Zurzeit empfehlenswert sind Leuchtstoffröhren mit der internationalen Farbbezeichnung xx-950, z. B. OSRAM LUMILUX® DELUXE Daylight 12-950. Zu helles Licht z. B. OP-Lampen (> 1500 lx) wäscht die Farbe aus, die Zahnfarbe wirkt zu hell. Zu dunkles Licht (< 1500 lx) lässt die Zahnfarbe zu grau erscheinen [21, 70].

Abstand

Der Mund des Patienten ist idealerweise auf Augenhöhe des Farbnehmers. Die Farbskala wird hierbei in Armlänge, was einem Abstand von 50 bis 70 cm entspricht, zum Patienten gehalten [21, 36].

Dauer

Die Farbwahl sollte zügig erfolgen, denn die Augen ermüden bereits nach ca. 5 - 7 Sekunden. Zum Entspannen der Augen auf einer neutralen Farbfläche eignet sich am besten blau. Blau ist die Komplementärfarbe zum gelben Zahnfarbenbereich. Zur Neutralisation des gesamten Farbensinnes eignen sich graue Flächen. Die ersten Empfindungen sind die aussagekräftigsten und zuverlässigsten [21].

Umfeld

Störungen des Farbeindruckes können durch ein farbneutrales Umfeld vermieden werden [65]. Das heißt: auffällige Farbgestaltungen von Vorhängen, Einrichtungsgegenständen und Wänden verfälschen das Ergebnis bei der Farbnahme ebenso wie starkes Make-up und

Lippenstift oder ausgeprägt farbige Kleidung des Patienten [21]. Letztere kann mit einem cremefarbenen Umhang abgedeckt werden.

Farbnehmer

Ein systematisches Vorgehen durch eine auf diesem Gebiet erfahrene Person soll Schätzfehler vermeiden. Wenn möglich, sollte die Bestimmung der Zahnfarbe unter Hinzuziehung des Zahntechnikers, welcher die Restauration herstellt, ausgesucht werden [70].

Hilfsmittel

Zur Optimierung der visuellen Abmusterung stehen von der Industrie verschiedene definierte Farbringe zur Verfügung. Eine komplette Abdeckung der im Zahnfarbenraum vorkommenden natürlichen Zahnfarben ist wünschenswert. Sie dienen zur Bestimmung der Grundfarbe, die in den meisten Fällen individuell modifiziert werden sollte [21]. Eine Materialübereinstimmung der verwendeten Farbringe und des für die Restauration vom Zahntechniker verarbeiteten Werkstoffes ist sicherzustellen. Das gleiche gilt für die Farbkodierung. Um Übertragungsfehler möglichst zu vermeiden, ist eine exakte Dokumentation notwendig. In vielen Fällen können Photos, Situationsmodelle oder Skizzen hilfreich sein. Als ein weiteres Hilfsmittel bietet die VITA-Zahnfabrik (Bad Säckingen, Deutschland) speziell für das Vitapan-3D-Master-Farbringsystem ein Farbkommunikationsschema an [32, 76].

2.6.2 Farbringsysteme

In den frühen 30er Jahren machte **Clark** den Versuch, das Munsell-Farbsystem in einem Farbring umzusetzen. Sein Zahnfarbsystem basierte auf der Untersuchung von über 6000 Zähnen, bei denen er 703 verschiedene Zahnfarben feststellte. Er leitete hieraus die Notwendigkeit von 3 Farbtönen, 19 Helligkeitsstufen und 6 Farbintensitäten ab. Für die Verwendung seines „Clark Tooth Color System“ gab es genaue Anweisungen. Diese betrafen beispielsweise die Lagerung des Patienten und die Beleuchtungsverhältnisse während der

Zahnfarbbestimmung. Diese Anforderungen haben zum Teil heute noch Gültigkeit. **Clark** war der Meinung, dass die Helligkeit (Value) der entscheidende Parameter bei der Entscheidung für eine Zahnfarbe sei. Fehler in der Helligkeit seien nach seinen Untersuchungen auffälliger als in anderen Untersuchungen. Auch der im Jahr 1965 entwickelte Farbring von **Hayashi** besaß einen guten Ansatz mit Weiterentwicklungsmöglichkeiten. Der Farbring war sehr logisch und einfach aufgebaut, hatte aber seine Begrenzung aufgrund des eingeschränkten Zahnfarbraums der japanischen Bevölkerung. Das Farbsystem umfasste 125 Zahnfarben, die im ersten Schritt der Farbauswahl durch die Bestimmung der Helligkeit (Value) auf 25 mögliche reduziert wurden. Durch die Bewertung der Intensität (Chroma), im zweiten Schritt, wurde die Zahl möglicher Zahnfarben auf 5 beschränkt. Aus diesen 5 Farben wurde dann im letzten Schritt der Farbton ausgewählt, der am besten zum Vergleichszahn passte. Auf der Basis der Untersuchungen von **Munsell**, **Clark** und **Hayashi** sah **Sproull** es als zwingend erforderlich an, dass ein suffizienter Farbring unbedingt einen Bereich von 5 verschiedenen Helligkeitsstufen umfassen sollte. Die Unterschiede zwischen den einzelnen Helligkeitsstufen sind so gravierend, dass sowohl unter unterschiedlichen Lichtbedingungen als auch in der Empfindung der verschiedenen Betrachter ein Ausgleich einer fehlerhaft bestimmten Helligkeitsstufe allein durch den Farbton oder die Intensität nicht möglich ist.

1934 entwickelte **Hildebrandt** [76] eine Dreischichttechnik für künstliche Zähne. Er berücksichtigte dabei die - „Lumin-Effekt“ genannte - Wechselbeziehung zwischen Gelb und Rot in künstlichem- und natürlichem Licht. Der Lumin-Vacuum-Farbring, den die Firma Vita zwischen 1938 und 1940 vorstellte, enthielt erstmals Farbtongruppierungen, die diesen Lumin-Effekt aufwiesen. Die endgültige Ausführung wurde unter Verwendung der Vakuum-Brand-Technik erst 1956 eingeführt und ist seitdem mit Ausnahme von Farbergänzungen nicht mehr verändert worden.

Die heute in der restaurativen Zahnheilkunde verwendeten Werkstoffe, wie Prothesenersatzzähne, sowie Verblend- und Füllungsmaterialien aus Kunststoff oder Keramik werden von verschiedenen Herstellern produziert, die entsprechend unterschiedliche Farbringssysteme anbieten. Die Konstanz der Zahnfarbmuster wird dabei während des Fertigungsprozesses zum einen visuell und zum anderen mittels einer 6-Zoll-Ulbrichtkugel kontrolliert. Die Ulbricht-Kugel ist ein Bauelement der optischen Messtechnik. Es handelt

sich um eine innen beschichtete Hohlkugel, in deren Oberfläche sich im rechten Winkel eine Austrittsöffnung befindet. Vor der Lichteintrittsöffnung befindet sich eine Lichtquelle. Die innere Beschichtung besteht aus hochreflektierenden Materialien. Der Durchmesser beider Öffnungen ist deutlich kleiner als der Innendurchmesser der Kugel, so dass nur solches Licht an die Austrittsebene gelangt, das zuvor vielfach an der inneren Oberfläche reflektiert worden ist. Das so erzeugte Licht bietet ein photometrisches Normal, um die optischen Eigenschaften verschiedener Körper miteinander zu vergleichen.

Bei der Farbbestimmung sollte jeweils der Farbring der Firma verwendet werden, deren Produkt verarbeitet wird, da die Farbskalen und die entsprechenden Werkstoffe ein aufeinander abgestimmtes System darstellen. Das heißt, einer Zahnfarbe, die etwa mittels eines Farbringes der Firma Vita bestimmt wurde, lässt sich häufig nicht der farblich entsprechende Zahnersatzwerkstoff eines anderen Herstellers (z. B. Ivoclar) zuordnen [49, 71]. Ferner wird gefordert, dass durch die Materialproben der Farbenraum der natürlichen Zähne möglichst konsequent abzudecken ist [69, 77].

2.6.2.1 Chromaskop

Die *Chromaskop-Farbskala* von Ivoclar / Vivadent ist eines der drei in dieser Untersuchung verwendeten Farbbestimmungssysteme. Das Farbringssystem wurde Mitte der 60er Jahre entwickelt. Die Zahnfarbmuster waren zu der Zeit lediglich numerisch aufgereiht. Im Jahr 1991 führte die Firma Ivoclar / Vivadent, zusammen mit dem keramischen Werkstoff Empress, die heute handelsübliche Farbskala in den Markt ein. Die 20 Zahnfarben des *Chromaskop-Farbringes* sind im Unterschied zum ursprünglichen Farbschlüssel in fünf Farbgruppen (weiß, gelb, hellbraun, grau und dunkelbraun) zusammengefasst, die auf der menschlichen Farbtypologie aufbauen. Die einzelnen Farbgruppen lassen sich im Block entfernen, und aus jedem der Blocks kann man wiederum einzelne Farbmuster entnehmen [33].

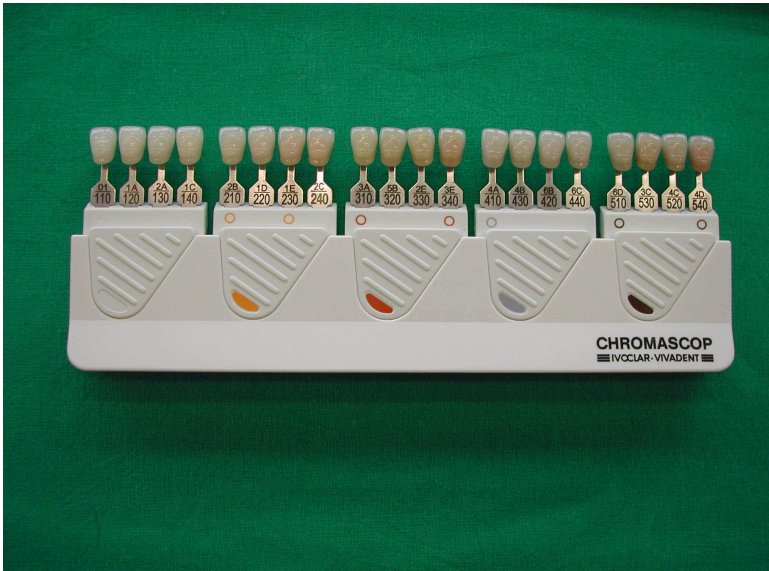


Abb. 7: Chromaskop-Farbskala

2.6.2.2 Vitapan-classical

1956 entwickelte die Firma VITA-Zahnfabrik die bis heute bekannte Farbskala *Lumin Vacuum*. Der Lumin®-Effekt beschreibt die bei wechselnden Lichtverhältnissen zu beobachtende Gelb-Rot-Wechselwirkung natürlicher Zähne. Die früheste Ausführung dieses Farbsystems wurde bereits zwischen 1938 und 1940 vorgestellt und enthielt erstmals Farbtongruppierungen. Das in dieser Arbeit verwendete *VITAPAN-classical*-Farbringssystem ist eine Weiterentwicklung der ursprünglichen Farbskala. Dieses System wurde im Jahr 1982 eingeführt und machte es erstmals möglich, die Werkstoffe Keramik und Kunststoff nach den gleichen Farbauswahlkriterien zu bestimmen. Der *VITAPAN-classical*-Farbring besteht aus 16 einzeln herausnehmbaren zahnförmigen Farbmustern aus Keramikmassen. Die Musterzähne sind nach Farbtönen in vier Gruppen unterteilt. Dabei entspricht Gruppe A den rot-braunen Farbtönen, Gruppe B den rot-gelben Farbtönen, C den grauen und D den rot-grauen Farbtongruppen. Innerhalb einer Gruppe nimmt die Helligkeit mit steigender Codierungszahl ab, die Sättigung dagegen zu [77].



Abb. 8: Vitapan-classical-Farbsklala

2.6.2.3 Vitapan-3D-Master

Die neueste Entwicklung der VITA-Zahnfabrik im Bereich der Zahnfarbbestimmung wurde im Frühjahr 1998 vorgestellt: das *VITAPAN-3D-MASTER*-Farbringsystem. Ziel des neu entwickelten Farbringes ist die vollständige und systematische Abdeckung der natürlich vorkommenden Zahnfarben im Zahnfarbraum im Sinne einer Äquidistanz, d. h. Gleichabständigkeit, unter Berücksichtigung der Parameter Farbhelligkeit, Farbintensität und Farbton. Die Farbnahme erfolgt in Teilschritten entsprechend den oben genannten drei Dimensionen des Farbeindrucks [77]. Im *ersten Schritt* der Farbnahme wird die **Helligkeitsstufe** (1 - 5) bestimmt. Es wird die Helligkeitsstufe ausgewählt, die der Helligkeit des zu vergleichenden Zahnes am ehesten entspricht. Daraus wird der mittlere Farbfächer M herausgezogen und aufgefächert. Die **Farbintensität** (1 - 3) wird nun im *zweiten Schritt* bestimmt. Das Farbmuster der M-Gruppe, das dem zu vergleichenden Zahn am nächsten kommt, wird ausgewählt. Im *dritten Schritt* wird nun der **Farbton** (L, M, R) bestimmt. Geprüft wird, ob der natürliche Zahn gelblicher (L) oder rötlicher (R) erscheint als das im zweiten Schritt ausgewählte Farbmuster der M-Gruppe. Die Informationsübermittlung der in

der zahnärztlichen Praxis bestimmten Zahnfarbe in das Dentallabor erfolgt mittels eines Farbbestimmungsprotokolls. Es beinhaltet übersichtlich neben der ausgewählten Zahnfarbe Informationen zu strukturellen Besonderheiten und Formbesonderheiten der Zähne [83].

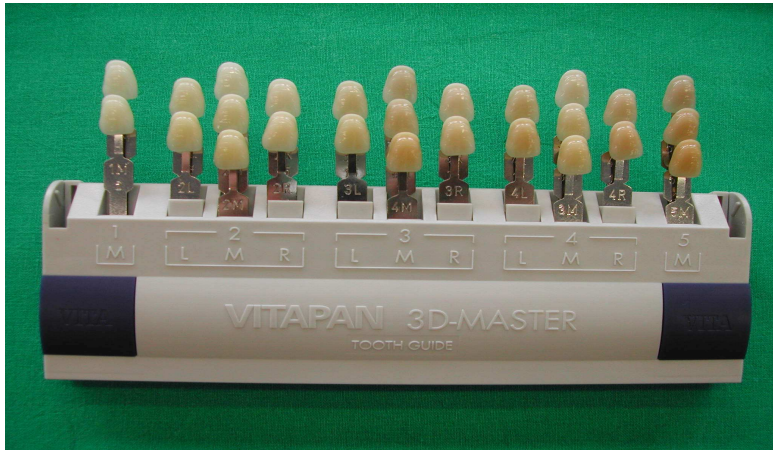


Abb. 9: Vitapan-3D-Master-Farbskala

2.7 Instrumentelle Farbbestimmungsverfahren

Da die visuelle Farbbestimmung mit einer Reihe von Fehlermöglichkeiten behaftet ist, steht die objektive Zahnfarbbestimmung mit elektronisch-optischen Mitteln seit einigen Jahren im Blickpunkt von Forschung und Entwicklung [37, 63, 64]. Seit Anfang der 90er Jahre sind spezielle Messgeräte zur Bestimmung der Zahnfarbe erhältlich. Die heute angebotenen digitalen Farbmessgeräte sollen eine bessere Reproduzierbarkeit des Messergebnisses gewährleisten, indem sie farbnehmerunabhängig und somit losgelöst von der individuellen Fähigkeit der Farbwahrnehmung gestaltet sind. In der Industrie ist die Anwendung der instrumentell gestützten Farbbestimmung schon lange Standard. Diese aus der Lack-, Druck-, und Textilindustrie bekannten instrumentellen Farbmeßsysteme wurden 1973 erstmals von **Sproull** [66, 67, 68] in die zahnmedizinische Nutzung übertragen. In der Industrie werden allerdings, anders als in der Zahnmedizin, homogene Materialien bewertet. Industrielle Farbeinteilungen werden mittels valenzmetrischer Systeme vorgenommen [4]. Sie machen es möglich, jeden Farbton nach Sättigung, Farbwert und Helligkeit zu unterscheiden. Die Zahnfarben unterliegen nicht dieser Ordnung. So sind in der Dentalwelt nicht einmal die Abstände zweier Zahnfarben im Farbraum gleichmäßig [16]. Eine weitere Schwierigkeit der genauen Farbbestimmung natürlicher Zähne liegt in der transluzenten Struktur der Zahnhartsubstanz, deren Farbeindruck wiederum deutlich von der Helligkeit der Umgebung beeinflusst wird [21, 40, 53].

Alle instrumentellen Farbmess-Systeme müssen bestimmte *Grundanforderungen* erfüllen. Die heute erhältlichen digitalen Farbanalysegeräte verwenden das von **Yamamoto** entwickelte CIE-Lab-System mit seinem gleichabständigen Aufbau. Grundsätzlich wird bei allen Farbmessgeräten Licht ausgestrahlt und die Reflexion gemessen. Technische Anforderungen an die Geräte sind einerseits eine hohe Sensibilität bei einfacher Handhabung nach kurzer Einarbeitungszeit; andererseits muss das Gerät möglichst mobil und leicht sein und über eine kleine Messeinheit verfügen, die es ermöglicht, alle Zahnflächen zu erreichen. Für den Einsatz dieser Geräte am Patienten ist eine nicht-destruktive Meßmethode obligat. Messungen dauern weniger als eine Sekunde und sind für den Patienten nicht spürbar. Die verschiedenen

Hersteller sehen die Vorteile digitaler Farbmess-Systeme hauptsächlich in der Objektivität, das heißt, die Farbnahme erfolgt unabhängig von der Beleuchtung, der Umgebung und vom jeweiligen Benutzer. Daraus folgt: die Farbbestimmung wird schneller und sicherer und muss nicht mehr vom Zahnarzt oder Zahntechniker durchgeführt werden, sondern ist beispielsweise an die zahnmedizinische Assistentin delegierbar. Durch die bessere Reproduzierbarkeit und Differenzierbarkeit instrumenteller Techniken sollen zusätzliche Anproben und Nachkorrekturen entfallen und so die Praxiskosten zusätzlich reduziert werden [10, 39, 74].

Neuere digitale Farbmessgeräte arbeiten mit drei verschiedenen Messprinzipien. Auf dem Prinzip einer digitalen Kamera basieren *Dentale RGB-Systeme*. Das einfallende Licht wird von einem CCD-Sensor aufgenommen. Dem Bild werden dann durch einen vorgeschalteten Farbfilter (Rot, Grün und Blau) weitere Farbinformationen hinzugefügt. Die Primärvalenzen dieser Systeme weichen von denen des menschlichen Auges ab, das heißt, sie „sehen“ Farben anders und sind aus diesem Grund für die Zahnfarbenbestimmung nicht ideal. *Dentale Colorimeter* messen die Wellenlängenbereiche des sichtbaren Lichtspektrums. Prinzipiell handelt es sich bei diesem Dreibereichsmessgerät auch um ein RGB-System, wobei hier die Filterkurven an die Normalspektralwertkurve und somit an die menschliche Farbwahrnehmung angeglichen sind. Dreibereichsmessgeräte sind tendenziell ungenauer als *Spektralphotometer*, die den Wellenlängenbereich des sichtbaren Lichtes zwischen 380 und etwa 720 nm erfassen [74]. Spektrale Geräte können mehr Informationen liefern als ein RGB- oder ein Dreibereichsmessgerät (z. B. über das Phänomen der Metamerie, die bei Zähnen / Keramik zwar vorhanden, aber nicht oder nur sehr schwer veränder- oder steuerbar ist) [16].

In einer 2002 veröffentlichten Arbeit von **Kohlmeyer** und **Scheller** [40] wurde das von der Firma HoMeBa GmbH (Birenbach, Deutschland) entwickelte digitale Farbbestimmungsgerät „Digital Shade Guide“ anhand der Vita-classical-Farbskala auf seine Präzision und seine Reproduzierbarkeit der Messergebnisse überprüft. In der Software des Gerätes sind verschiedene Farbsysteme hinterlegt (Vita classical, Vitapan-D-Master, Chromaskop und Biodent) [39, 55]. Die Auswertung der Messergebnisse zeigte, dass verschiedene Umgebungsfarben oder Beleuchtungsverhältnisse einen zu jeweils 100 % reproduzierbaren Farbwert ergeben. Weitgehende Übereinstimmungen bestanden zwischen den elektronisch ermittelten Modalwerten und den Farbangaben der Farbmuster. Zu bemerken ist, dass die

Ergebnisse keinen Rückschluss auf den klinischen Einsatz zulassen, da lediglich Farbmuster untersucht wurden. Natürliche Zähne stellen aufgrund ihrer großen farblichen Vielfalt höhere Anforderungen an ein Meßsystem.

Im Herbst 2003 brachte die Firma VITA-Zahnfabrik mit dem VITA-Easyshade ein weiteres digitales Farbmessgerät auf den Markt. Es enthält in seiner Software die Zahnfarben der VITAPAN-classical-Skala, des 3D-Master-Systems und drei Bleaching-Farben aus dem 3D-Master-System [82, 80, 77]. Bei dem Gerät handelt es sich um ein punktweise messendes Spektralphotometer [2]. Innerhalb einer Studie (2004) zur Aussagekraft elektronischer Farbmessungen des „Akademic Centre for Dentistry“ der freien Universität Amsterdam wurde der VITA-Easyshade neben vier weiteren instrumentellen Farbmessgeräten untersucht. Die Studie bewertete die Ähnlichkeit zwischen den gemessenen Farbwerten der Geräte und des tatsächlichen VITAPAN-classical-Farbringens des Herstellers VITA. Zudem wurde die Reproduzierbarkeit der Systeme in vitro und in vivo überprüft. Im Ergebnis wies das Spektrophotometer (VITA Easyshade) sowohl in vitro als auch in vivo die höchste Reproduzierbarkeit aller getesteten Geräte auf [20].

2.8 Studien zur visuellen Farbauswahl

1970 machte **Culpepper** in einer Studie deutlich, dass auch bei erfahrenen Zahnärzten die visuelle Farbauswahl nur in geringem Maß fehlerfrei ist. 37 Zahnärzte bestimmten unter Verwendung verschiedener Farbskalen und Lichtquellen die Zahnfarben von natürlichen Zähnen. Im Ergebnis zeigte sich, dass reproduzierbare Ergebnisse für die Farbauswahl im Sinne einer Übereinstimmung weder innerhalb einer Probandengruppe noch unter den verschiedenen Farbringssystemen oder bei Variation der Lichtquelle zu finden waren. Bei einigen Versuchsteilnehmern änderte sich die Wahl des Farbmusters bei identischer Lichtquelle sogar von Mal zu Mal. Nur 22 % der Zahnärzte konnten ihre erste Farbentscheidung in einer Nachuntersuchung wiederholen. Die Zahnfarbe des oberen ersten Schneidezahnes war am einfachsten zu bestimmen. Doch auch hier erzielten die Probanden nur in 38 % ein übereinstimmendes Ergebnis [14].

Inwieweit die Berufserfahrung einen Einfluss auf die Fähigkeit zur Zahnfarbenbestimmung hat, untersuchte **McMaugh** 1977 in einer vergleichenden Studie, an der Zahnärzte, Zahnmedizinstudenten und Zahntechniker teilnahmen. Die Probanden bestimmten unter nicht standardisierten Bedingungen die Farbe an Keramikproben. Die Keramiktechniker erreichten bei Verwendung einer Vita-Lumin-Farbskala ein signifikant besseres Ergebnis als die übrigen Studienteilnehmer [45].

Schlegel kommt 1999 in seiner Arbeit ebenfalls zu dem Ergebnis, dass die Berufserfahrung einen größeren Einfluss auf die Treffsicherheit bei der Farbbestimmung hat als beispielsweise Faktoren, wie Geschlecht und Alter. 188 Probanden nahmen hier in einem Tischkabinett mit Tageslichtbeleuchtung visuelle Zahnfarbenbestimmungen (Zuordnung von Zahnfarbmustern zueinander) vor. Die Gruppe der Untersuchungsteilnehmer setzte sich aus Studienanfängern der Zahnmedizin, Zahntechnikern, Zahnärzten und Zahnarthelferinnen zusammen [61].

In einer Arbeit von **Donahue** et al. wurde 1991 die Fähigkeit der Farbwahrnehmung von männlichen und weiblichen Studenten der Zahnmedizin bestimmt. Überprüft werden sollte

mit dieser Studie die traditionelle Annahme, dass Frauen ein besseres Farbwahrnehmungsempfinden als Männer haben. Die Probanden nahmen gegenseitig Zahnfarbbestimmungen mit drei verschiedenen Farbskalen und drei unterschiedlichen Lichtquellen vor. Im Ergebnis wurden keine statistisch signifikanten, geschlechtsspezifischen Unterschiede bei der Fähigkeit des Farbsehens festgestellt [19]. Da Störungen des Farbensinns bei Männern häufiger als bei Frauen auftreten [74], können sich hieraus Schwierigkeiten bei der Farbbestimmung ergeben [3].

In einer ähnlichen Arbeit untersuchten **Moser** et al. 1981 die Farbentüchtigkeit von 670 Zahnmedizinern. Sie stellten bei 0,25 % der Frauen und bei 9,9 % der Männer Farbsehschwächen fest [47].

Junker-Malcharek et al. beschrieben in einer 2002 veröffentlichten Studie die Farbbestimmung mit der Vitapan-3D-Master-Farbskala im Vergleich zur Vitapan-classical-Farbskala. Die Farbauswahl wurde an natürlichen, nicht versorgten Zähnen vorgenommen. Es beteiligten sich Zahnmedizinstudenten, Zahnärzte, zahnärztliche Helferinnen und Zahntechniker an der Versuchsreihe. Die im Ergebnis anfänglich verlängerten Zeiten für die Farbnahme mit dem Vitapan-3D-Master wurden nach einer Eingewöhnungsphase und einiger Erfahrung durch die größere Treffsicherheit und eine entsprechend bessere Farbproduktion durch den Zahntechniker im Labor kompensiert. Die Handhabung und der Schwierigkeitsgrad der Farbbestimmung mit der Vitapan-3D-Master-Farbskala wurden im Vergleich zur Vitapan-classical-Farbskala von den Probanden eher als „mittel“ oder „schwierig“ bewertet [36].

Ebenfalls im Jahr 2002 untersuchte **Ross**, inwieweit verschiedene Untersucher (21 Studenten aus dem 4. klinischen Semester) bei der Farbabmusterung von natürlichen Zähnen, mithilfe des Vitapan-3D-Master-Farbringensystems, zu übereinstimmenden bzw. reproduzierbaren Ergebnissen gelangen. Die Reproduzierbarkeit wurde durch wiederholte Farbbestimmungen derselben Zähne unter identischen Bedingungen zu unterschiedlichen Zeitpunkten überprüft. Im Ergebnis hatte hier die Umgebungsbeleuchtung den größten Einfluss auf die Streuung der ausgewählten Zahnfarben [58].

Auf einem internationalen Workshop wurde 2005 ein an der Universität Leipzig entwickeltes Trainingsprogramm zur visuellen Farbreproduktion vorgestellt. Das Team um **Jakstat** entwarf mit dem Softwareprogramm „Toothguide Trainer“ ein Instrumentarium, das ein systematisches Vergleichstraining ermöglicht. Das Programm verläuft in drei Etappen. Die Aufgabe des Studenten besteht im ersten Trainingsabschnitt darin, Abbildungen von Zähnen einander zuzuordnen. Computerspielen vergleichbar werden verschieden komplizierte Levels mit entsprechendem Punktestand angeboten. Die zweite Stufe beinhaltet das Üben mit der „Toothguide Training Box“ (TTB). Die Box wurde zusammen mit der VITA-Zahnfabrik konstruiert. In der TTB sind auf einem Rad 50 verschiedene Keramikzähne befestigt. Dieses „Zahnrad“ dreht sich und stoppt computergesteuert. Der durch eine Öffnung zu sehende Zahn ist dann per Knopfdruck mit einem ebenfalls auf beweglichen Halterungen montierten Pendant zu vergleichen. Erschwerend wirken hier schon äußere Einflüsse, da beispielsweise die Zahnmodelle durch variierende Beleuchtungsverhältnisse unterschiedlich glänzen können. Der nächste Schritt ist dann das Training am Patienten (Kommilitonen). Durch das Trainingsprogramm wurde die Trefferquote nachweisbar um 33 Prozent verbessert. Bei farbfehlsichtigen Probanden waren es 28,8 Prozent [35, 34].

3 Eigene Untersuchungen

Im Rahmen dieser Arbeit sollten drei in der Praxis häufig verwendete konfektionierte Farbringsysteme (Vitapan-classical, Vitapan-3D-Master und Chromaskop) verglichen werden. Sie dienen als Hilfsmittel bei der visuellen Zahnfarbbestimmung. Ziel der Untersuchung war es, die Farbskala zu ermitteln, mit der sich die Ergebnisse der Farbwahl am zuverlässigsten reproduzieren ließen. Zum einen wurden in der ersten Untersuchungsreihe von den Versuchsteilnehmern laborgefertigte Keramikfarbmuster mit den drei Farbschlüsseln verglichen, und die gewählte Zahnfarbe wurde dokumentiert. Zum anderen wurde im klinischen zweiten Versuchsteil von den Probandengruppen die Zahnfarbe eines natürlichen Zahnes mit den o. g. Farbringen bestimmt.

3.1 Visuelle Farbbestimmung Keramikmuster

3.1.1 Material

3.1.1.1 Auswahl der Farbmuster aus den Farbringsystemen

Aus der Vitapan-3D-Master-, der Vita-classical- und der Chromascop-Farbskala von Ivoclar / Vivadent (Schaan, Liechtenstein) wählte eine an dem Versuch unbeteiligte Person jeweils blind 5 Farbmuster aus allen Zahnfarbbereichen der in der Untersuchung verwendeten

Farbskalen aus. Bei den in dieser Arbeit verwendeten Farbskalen handelte es sich um vollkeramische Zahnmuster, die aus Dentin-, Schneide- und Halsmasse geschichtet wurden. Aus dem Chromaskop-Farbschlüssel wurde je eine Probe aus den Basisfarbgruppen (weiß / 100er, gelb / 200er, hellbraun / 300er, grau / 400er und dunkelbraun / 500er) ausgewählt. Entsprechend der Einteilung der Vita-Classical-Farbskala (VITA Zahnfabrik, Bad Säckingen, Deutschland) wurden Zahnfarben aus allen vier Farbgruppierungen ausgesucht (A1-A4 / rötlich-bräunlich, B1-B4 / rötlich-gelblich, C1-C4 / Grautöne und D2-D4 / rötlich-grau). Mit den Farbproben aus den fünf Helligkeitsbereichen des Vitapan 3D-Master-Farbringensystems (VITA Zahnfabrik, Bad Säckingen, Deutschland) (1 / M, 2 / L, M, R, 3 / L, M, R, 4 / L, M, R und 5 / M) bildeten diese Farbmuster die Grundlage zur Herstellung von Keramikproben durch die Firma VITA Zahnfabrik (Bad Säckingen, Deutschland).

3.1.1.2 Herstellung der Keramikveneers

Hierfür wurden 15 KaVo-Kunststoffzähne (KaVo, Biberach, Deutschland) im koronalen Anteil, im Sinne eines Veneers, so präpariert, dass die Keramikproben aufgeklebt werden konnten. Die Keramikzahnproben konnten so in ein KaVo-Zahnmodell eingebracht werden.



Abb. 10: Phantomkopf

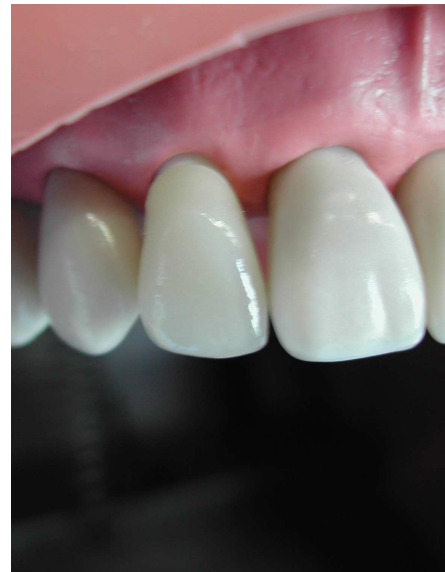


Abb. 11: Keramikprobe Zahn 12 im KaVo-Modell

Alle keramischen Zähne wurden vor einem grauen reflektierenden Edstahlhintergrund vermessen. Die Angabe des Hintergrundes ist bei der Angabe von Farbkoordinaten transluzenter Körper sehr wichtig. So wirken vor einem weißen Hintergrund vermessene Körper satter (Chroma) und heller (Lightness). Gegenteiliges passiert bei einer Messung vor schwarzem Hintergrund. Die Messdaten für die einzelnen Keramikzähne wurden ohne den KaVo-Stumpf ermittelt. Der Stumpf führt zu einer leichten Aufhellung (L-Wert = Lightness 0...100, Chroma = Farbintensität 0..160, h = Hue = Farbton 0°...360°; nach CIE Lab bzw. CIELCH Farbraum). Beinhaltet sind in den Messdaten teilweise Standards der Firma VITA. Deshalb sind die Messwerte nicht direkt vergleichbar, da die Zahnformen des KaVo-Zahnes eine andere Oberflächenkrümmung aufweisen als die Farbskalenzähne der Firma VITA. Dies führt zu einer Helligkeitsabweichung (L-Wert) von ca. 3 Einheiten.

An der ersten Testreihe nahmen folgende drei Probandengruppen teil:

- Studenten der Zahnmedizin aus verschiedenen klinischen Semestern
- Zahnarzhelferinnen
- Zahnärzte

Von den insgesamt 100 Testpersonen der ersten Versuchsreihe wurden folgende Daten anonymisiert erhoben: Alter, Geschlecht, Beruf und Farbtüchtigkeit. Die Probandengruppe unterteilte sich in 60 Studenten, 22 Zahnarzhelferinnen und 18 Zahnärzte. 7 Probanden aus der Studentengruppe hatten vor Beginn des Studiums der Zahnmedizin im zahntechnischen Bereich gearbeitet. 61 Studienteilnehmer waren weiblich und 39 männlich. Bezogen auf das Alter teilte sich die Gruppe in 2 Probanden bis 20 Jahre, 76 Probanden bis 30 Jahre, 15 Probanden bis 40 Jahre, 5 Probanden bis 50 Jahre und 2 Probanden über 50 Jahre auf. Die Zahnärzte der Gruppe waren Assistenten des Zentrums für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde in Münster. Die Studenten waren Studierende der Zahnmedizin aus den klinischen Semestern der Westfälischen Wilhelms-Universität in Münster. Die Testpersonen aus der Helferinnengruppe waren in der Poliklinik für Zahnerhaltung des Zentrums für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde in Münster tätig. Die teilnehmenden Studenten, Zahnärzte und Helferinnen hatten sich in klinischen Kursen bzw. bei der Patientenbehandlung in der Poliklinik für Zahnerhaltung täglich mit der visuellen Farbbestimmung für zahnärztliche Restaurationen beschäftigt. In die Handhabung der Farbringsysteme erhielten die Probanden vor Beginn der Untersuchungsreihe Einzeleinweisungen.

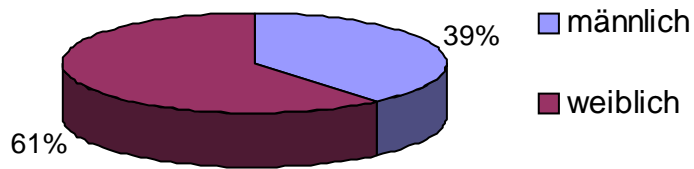


Abb. 12: Aufteilung der Probanden nach Geschlecht

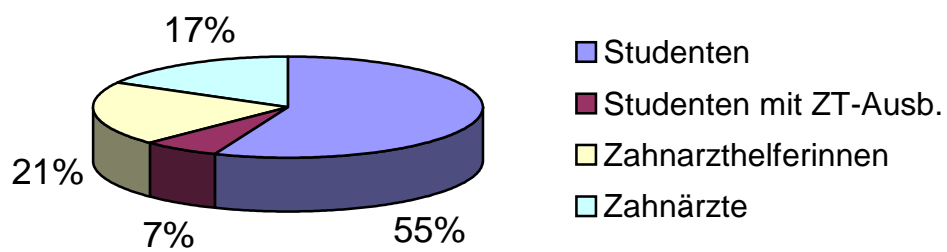


Abb. 13: Aufteilung der Probanden nach der Art der Ausbildung

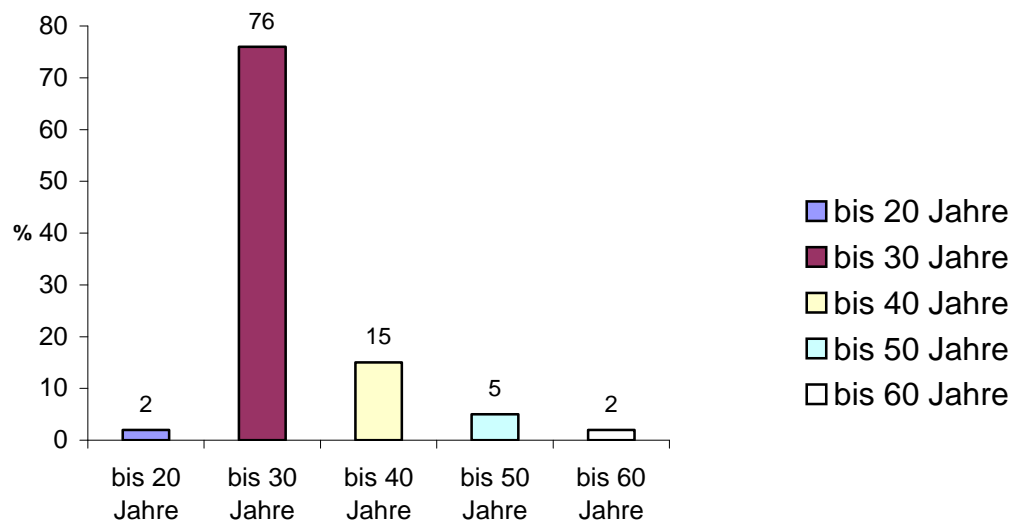


Abb. 14: Altersstruktur der Probanden

3.1.2 Methode

Vor dem Beginn der ersten Untersuchungsreihe unterzogen sich alle 100 Versuchsteilnehmer einem Farbsehtest nach Velhagen und Broschmann. Die 24 pseudoisochromatischen Farbtafeln dienten der einfachen Feststellung von Farbfehlsichtigkeiten [75]. Dabei wurde das Testergebnis als „richtig“, „falsch“ und „nicht gelesen“ protokolliert. Nach der Auswertung der Ergebnisse ergibt sich daraus das Schlussurteil „farbtüchtig“, „farbenschwach“ und „farbuntüchtig“ [74].

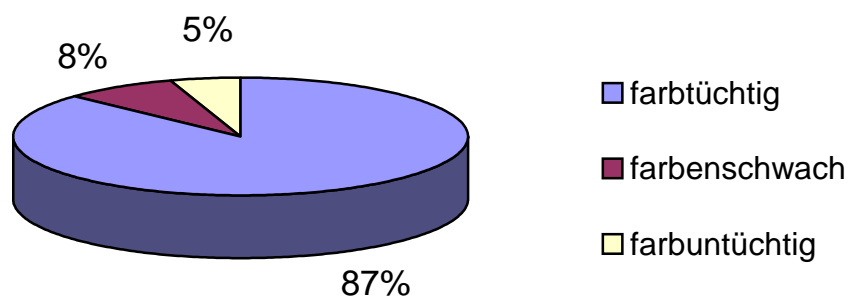


Abb. 15: Aufteilung der Probanden nach Farbtüchtigkeit

Die 15 Keramikfarbmusterproben der ersten Versuchsreihe entsprechen jeweils den nachfolgend aufgeführten Farbmusterproben, der drei zu vergleichenden Farbschlüssel:

Tabelle 1: Keramikfarbmusterproben der ersten Versuchsreihe

Probe	Farbskala	Farbe
P1	Vitapan-Classical	D3
P2	Vitapan-3-D-Master	2M2
P3	Chromaskop	130
P4	Chromaskop	420
P5	Vitapan-Classical	A1
P6	Vitapan-Classical	A2
P7	Vitapan-3-D-Master	5M2
P8	Vitapan-Classical	C3
P9	Vitapan-3-D-Master	3M3
P10	Vitapan-3-D-Master	4R2.5
P11	Chromaskop	240
P12	Chromaskop	520
P13	Vitapan-Classical	B1
P14	Vitapan-3-D-Master	1M2
P15	Chromaskop	330

Um für den Laborversuch mit den Keramikfarbmustern einen standardisierten Versuchsaufbau und optimale Versuchsbedingungen zu erreichen, wurde die Farbauswahl der Probanden immer unter der gleichen Neon-Raumbeleuchtung im Phantomkurssaal der Poliklinik für Zahnerhaltung der Univ.-ZMK-Klinik Münster durchgeführt. Die zu untersuchenden Zahnfarbmuster wurden immer an die Position des Zahnes 12 in ein Übungsmodell der Firma KaVo eingesetzt. Jedes Modell wurde mit einer neuen Gingivamanschette versehen und in einen Phantomkopf eingebracht. An die Phantomköpfe waren ebenfalls neue Gesichtsmasken angebracht worden.

Um eine Ergebnisverfälschung zu vermeiden, wurde den Versuchsteilnehmern für die Untersuchungsreihen nur jeweils ein Exemplar der zu untersuchenden Farbskalen zur Verfügung gestellt [52, 60]. Grelle Farben im Umfeld der Farbnahme beeinflussten die Untersuchung nicht, da alle Testpersonen weiße Klinikkleidung trugen. Der Torso der Phantomkörper bestand aus grauem Kunststoff, so dass die Probanden ihre Augen auf dieser Fläche zwischen den Farbnahmen entspannen konnten. Die Abmusterung erfolgte für jede Farbbestimmung einzeln. Die Farbskala wurde in Augenhöhe und auf Armlängenabstand an den Probenzahn gehalten. Ein Zeitlimit für die einzelnen Bestimmungen wurde nicht vorgegeben. Vor Beginn der Versuchsreihe wurde jeder Proband speziell mit der Handhabung des Vitapan-3D-Master-tooth-guides vertraut gemacht, da die Systematik zur Bestimmung einer Zahnfarbe sich hierbei deutlich von der Anwendung der Chromaskop-Farbskala und dem Vitapan-classical-Farbringsystem unterscheidet. Die letztgenannten Farbschlüssel werden regelmäßig in der Poliklinik für Zahnerhaltung zur Farbnahme verwendet.

3.1.3 Auswertung und Statistik

Für die in dieser ersten Untersuchung verwendeten Zahnfarbskalen wurden durch eine deskriptive Analyse die häufigsten Trefferquoten (Anzahl der richtig bestimmten Zahnfarbmuster) für die verschiedenen Altersstufen, die einzelnen Berufsgruppen, deren Farbtüchtigkeit und deren Geschlecht ermittelt.

Die statistische Überprüfung des Signifikanzniveaus der Untersuchungsergebnisse erfolgte mittels zweier nichtparametrischer Tests nach Kruskal-Wallis und nach Mann-Whitney.

Die Untersuchungsparameter Beruf und Farbtüchtigkeit wurden mit Hilfe des Kruskal-Wallis-Tests, die Altersstufen und das Geschlecht mit dem Mann-Whitney-Test überprüft.

Die Analyse der Untersuchungsergebnisse erfolgte mit dem Statistikprogramm SPSS Version 12.0 für Windows (Microsoft Corporation, Chicago / USA). Das Signifikanzniveau wurde mit $p < 0,05$ festgelegt.

3.2 Visuelle Farbbestimmung Echtzahn

3.2.1 Material

Die Farbauswahl im klinischen Teil der Arbeit wurde am natürlichen, vitalen Zahn 22 eines Probanden vorgenommen. Ein Auswahlkriterium für den natürlichen Zahn war seine Füllungsfreiheit. Des Weiteren war der Zahn frei von Verfärbungen und Belägen, die die natürliche Zahnfarbe verfälschen könnten. Am zweiten Teil der Untersuchung nahmen 23 männliche und 27 weibliche Testpersonen teil. Es handelte sich hierbei um 11 Assistenten des Zentrums für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde und 39 Studenten der Zahnmedizin aus dem siebten und zehnten klinischen Semester der Westfälischen Wilhelms-Universität in Münster. Alle Probanden waren farbtüchtig. Entsprechend dem ersten Laborversuchsteil wurden wieder die identischen drei Farbschlüssel (Vita-classical, Vitapan-3D-Master und Chromaskop) zur Farbbestimmung verwendet.

3.2.2 Methode

Um für alle an der zweiten Untersuchungsreihe teilnehmenden Probanden konstant gleiche Rahmenbedingungen zu schaffen, wurde die Farbbestimmung von jedem Versuchsteilnehmer einzeln in einem Behandlungsraum der Poliklinik für Zahnerhaltung des Zentrums für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde vorgenommen. Die Farbnahme erfolgte immer an derselben Patientin bei Kunstlicht mit Tageslichtqualität. Die Versuchsperson trug weder Lippenstift noch starkes Make-up und wurde mit einem Tuch abgedeckt, um den Farbeindruck nicht zu stören. Entsprechend dem ersten Versuchsteil erhielten alle Probanden, die an dieser Versuchsreihe teilnahmen, eine kurze Einweisung in die Handhabung der verschiedenen Farbringssysteme. Die Teilnehmer der zweiten Untersuchungsreihe waren angewiesen, einen

möglichst kurzdauernden Farbvergleich zwischen natürlichem Zahn und Farbringmustern durchzuführen, um eine Ermüdung der Augen zu vermeiden.

3.2.3 Auswertung

Die Analyse der Untersuchungsergebnisse erfolgte mithilfe des Tabellenkalkulationsprogramms Microsoft Excel 2000©. Für die drei Farbringssysteme wurden im zweiten klinischen Versuchsteil die Resultate prozentual berechnet. Verglichen wurden die am häufigsten ausgewählten Zahnfarben bezogen auf die unterschiedlichen Altersstufen, die einzelnen Berufsgruppen und deren Geschlecht. Die Ergebnisse wurden, soweit keine ganzzahligen Werte aus den Berechnungen hervorgingen, auf die erste Dezimalstelle bei Zahlen zwischen 1 und 4 abgerundet, bei Werten zwischen 5 und 9 aufgerundet. Nach Zusammenfassung der Ergebnisse wurden Balkendiagramme erstellt, um die Untersuchungsergebnisse visuell zu veranschaulichen und graphisch darzustellen.

4 Ergebnisse

4.1 Farbreproduktionsergebnisse der Keramikmuster

Im Mittel lag die Trefferquote aller Probanden des ersten Untersuchungsteils in Bezug auf die richtige Zuordnung der Farbmuster bei 41,2 %. Der Ergebnisteil dieser Arbeit schlüsselt die Erfolgsquoten der Probanden nach den folgenden verschiedenen Parametern auf.

4.1.1 Treffer aller Probanden

Im Ergebnis wurden zunächst ohne Aufschlüsselung der Einzelgruppenzugehörigkeit (Beruf, Geschlecht, Alter, Farbtüchtigkeit), bezogen auf alle hundert Versuchsteilnehmer die durchschnittlichen prozentualen Trefferquoten ermittelt, die mit den drei Farbskalen erreicht wurden. Aus der Abb. 16 wird die Verteilung der richtigen Zuordnungen auf die 15 einzelnen Keramikmusterproben deutlich. Die Proben P1 (D3), P5 (A1), P6 (A2), P8 (C3) und P13 (B1) aus der Vitapan-classical-Farbskala wurden von 38,4 % der Probanden korrekt bestimmt. Die Muster P2 (2M2), P7 (5M2), P9 (3M1), P10 (4R2.5) und P14 (1M2) entsprachen denen aus der Vitapan-3D-Master-Skala. Hier lag die Trefferquote bei 47,6 %. Demgegenüber wurden aus den Farbmustern P3 (130), P4 (420), P11 (240), P12 (520) und P15 (330) aus dem Chromaskop-Farbringsystem 37,6 % aller Treffer erzielt.

Dies ergab folgende Rangfolge:

1. Vitapan-3D-Master (47,6 %)
2. Vitapan-classical (38,4 %)
3. Chromaskop (37,6 %)

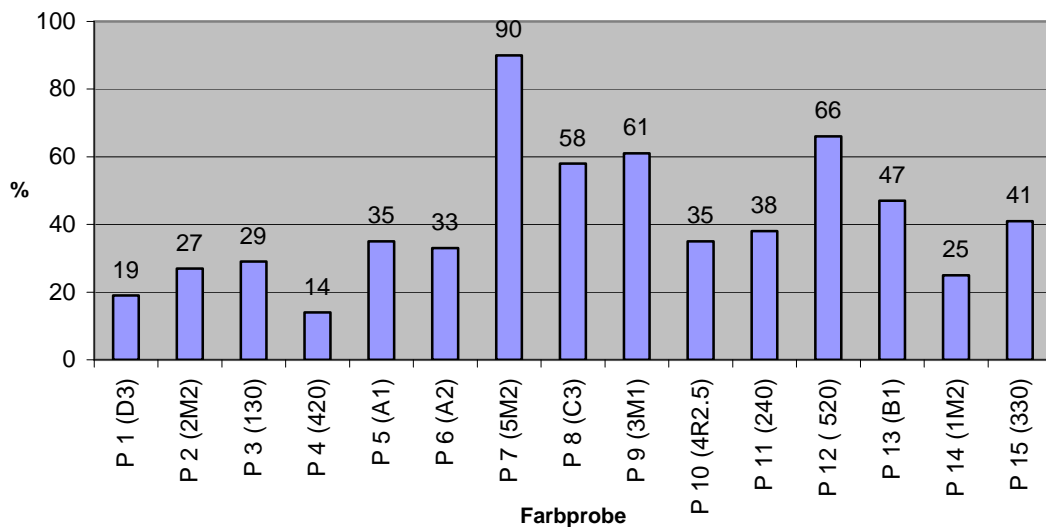


Abb. 16: Trefferaufteilung der Gesamtprobandengruppe (korrekte Zuordnungen in %)

4.1.1.1 Trefferquoten der Probanden nach Geschlecht

In der Tabelle 2 und Abb. 17 werden die Trefferquoten der 39 männlichen und 61 weiblichen Probanden dargestellt. Zwischen Männern und Frauen zeigte sich nach statistischer Auswertung (Mann-Whitney-Test) ein hochsignifikanter, geschlechtsspezifischer Unterschied ($p = 0,005$). Die Frauen wiesen ein insgesamt besseres Ergebnis auf als die Männer. Im Vergleich lag die durchschnittliche Trefferzahl der männlichen Probanden insgesamt bei 5,3 Treffern, die der weiblichen bei 6,7 Treffern. Dies entspricht einer Trefferquote von 35,4 % bei den Männern und 44,9 % bei den Frauen.

Tabelle 2: Trefferquote nach Geschlecht in Prozent

Probe	P 1 (D3)	P 2 (2M2)	P 3 (130)	P 4 (420)	P 5 (A1)	P 6 (A2)	P 7 (5M2)	P 8 (C3)	P 9 (3M1)	P 10 (4R2.5)	P 11 (240)	P 12 (520)	P 13 (B1)	P 14 (1M2)	P 15 (330)
männlich	17,9	23,1	20,5	15,4	35,9	15,4	89,7	51,3	33,3	28,2	28,2	59,0	46,2	25,6	41,0
weiblich	19,7	29,5	34,4	13,1	34,4	44,3	90,2	62,3	78,7	39,3	44,3	70,5	47,5	24,6	41,0

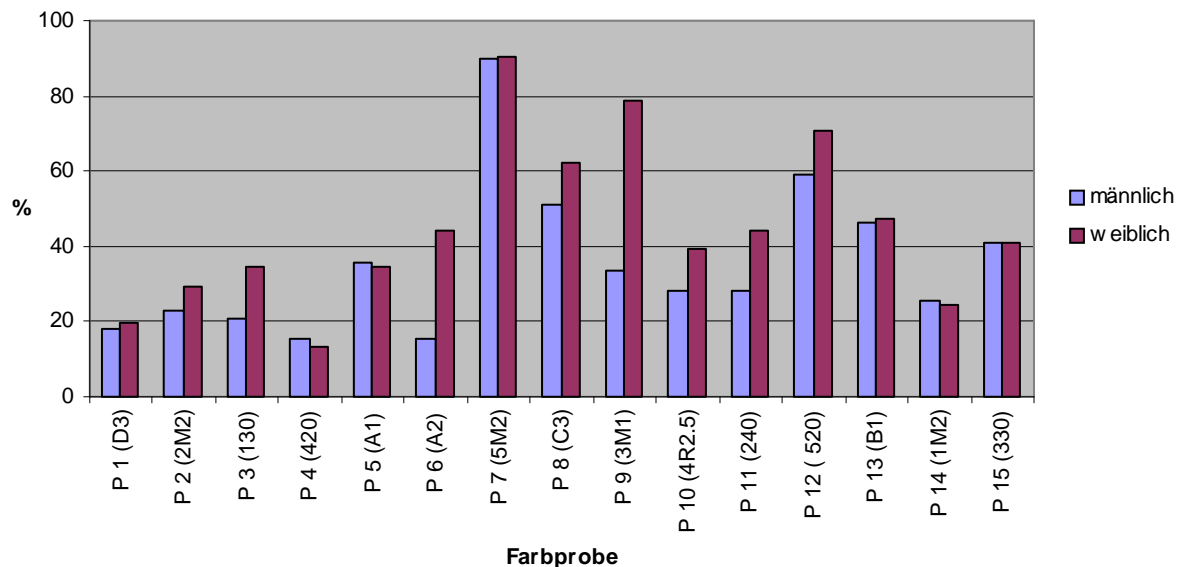


Abb. 17: Trefferquote nach Geschlecht

4.1.1.2 Trefferquoten der Probanden nach Beruf

Zwischen den in Tabelle 3 und Abb. 18 dargestellten durchschnittlichen Trefferquoten aller Probanden der verschiedenen Berufsgruppen zeigte sich kein signifikanter berufsspezifischer Unterschied ($p > 0,05$). Die Studenten erkannten im Durchschnitt 6,0 Muster, die Zahnarthelferinnen 6,3 und die Zahnärzte 6,5 Muster richtig. Die an der Untersuchung teilnehmenden Zahntechniker sind in der Berufsgruppe der Studenten enthalten, da es sich zwar um Studenten mit zahntechnischer Ausbildung handelte, die aber nicht über weitere Berufserfahrung als Zahntechniker verfügten. Es ergaben sich keine signifikanten Unterschiede ($p = 0,545$). In dieser nach Berufsgruppen aufgeschlüsselten Probandengruppe

konnten 40,2 % der Studenten, 42,1 % der Zahnärzthelferinnen und 43,3 % der Zahnärzte die Zahnfarbmuster korrekt zuordnen.

Tabelle 3: Trefferquote nach Berufen in Prozent

Probe	P 1 (D3)	P 2 (2M2)	P 3 (130)	P 4 (420)	P 5 (A1)	P 6 (A2)	P 7 (5M2)	P 8 (C3)	P 9 (3M1)	P 10 (4R2.5)	P 11 (240)	P 12 (520)	P 13 (B1)	P 14 (1M2)	P 15 (330)
Studenten	25,0	23,3	23,3	11,7	36,7	30,0	91,7	56,7	58,3	38,3	38,3	61,7	43,3	25,0	40,0
Helferinnen	4,5	36,4	36,4	13,6	36,4	45,5	86,4	63,6	81,8	27,3	31,8	59,1	45,5	27,3	36,4
Zahnärzte	16,7	27,8	38,9	22,2	27,8	27,8	88,9	55,6	44,4	33,3	44,4	88,9	61,1	22,2	50,0

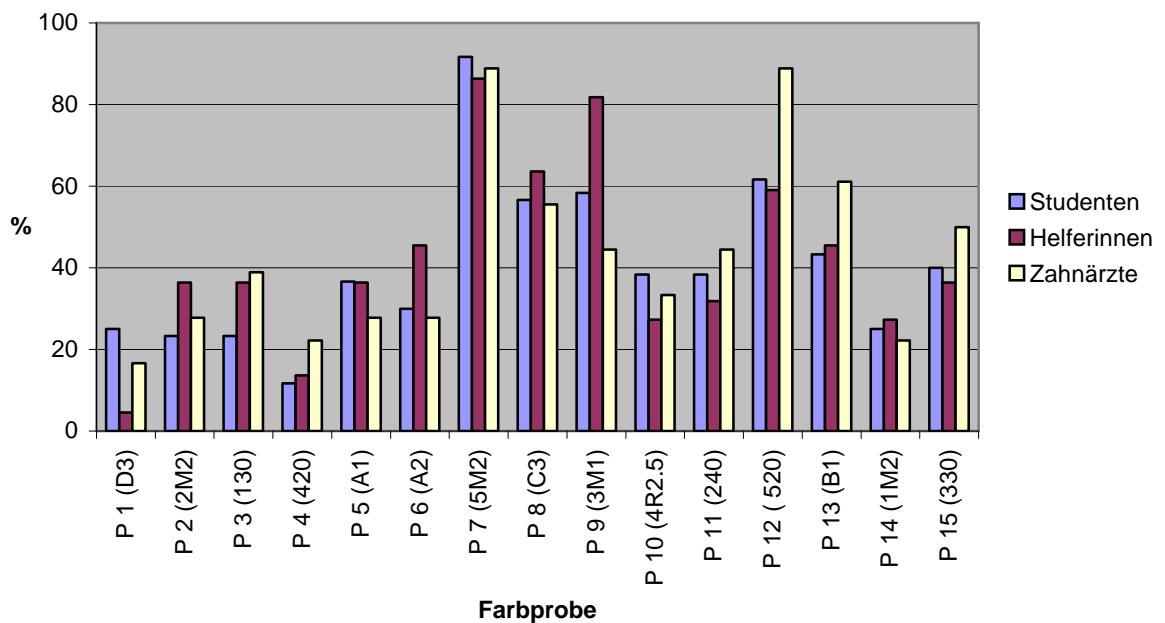


Abb. 18: Trefferquote nach Berufen

4.1.1.3 Trefferquoten der Probanden nach Alter

Bei der in der Tabelle 4 und Abb. 19 gezeigten Aufteilung nach Alter der Gesamtprobandengruppe waren keine signifikanten Unterschiede zwischen den bis 30-jährigen und der Gruppe der über 30-jährigen festzustellen ($p = 0,674$). Aufgrund der zu

geringen Anzahl der Versuchsteilnehmer in der Altersgruppe bis 20 Jahre und den Probanden der Gruppen der bis 50- und bis 60-jährigen konnte über die Angehörigen dieser Altersklassen keine sinnvolle statistische Aussage getroffen werden. Sie wurden deshalb in den beiden o. g. Altersgruppen (< 30 Jahre und > 30 Jahre) zusammengefasst. Dabei erzielten die Probanden aus der Gruppe der unter 30-jährigen durchschnittlich 6,1 Treffer und die Versuchsteilnehmer aus der Altersgruppe der über 30-jährigen 6,3 korrekte Zuordnungen. In Tabelle 4 und Abbildung 19 sind die prozentualen Anteile der Probanden in Bezug auf die Anzahl richtiger Zuordnungen der Farbmuster dargestellt. Dabei haben die bis 30-jährigen 40,9 % und die über 30-jährigen 42,1 % aller Proben korrekt wiedergegeben.

Tabelle 4: Trefferquote nach Alter in Prozent

Probe	P1 (D3)	P2 (2M2)	P3 (130)	P4 (420)	P5 (A1)	P6 (A2)	P7 (5M2)	P8 (C3)	P9 (3M1)	P10 (4R2.5)	P11 (240)	P12 (520)	P13 (B1)	P14 (1M2)	P15 (330)
<30 Jahre	20,5	28,2	28,2	12,8	32,1	34,6	93,6	57,7	61,5	34,6	37,2	67,9	43,6	21,8	39,7
>30 Jahre	13,6	22,7	31,8	18,2	45,5	27,3	77,3	59,1	59,1	36,4	40,9	59,1	59,1	36,4	45,5

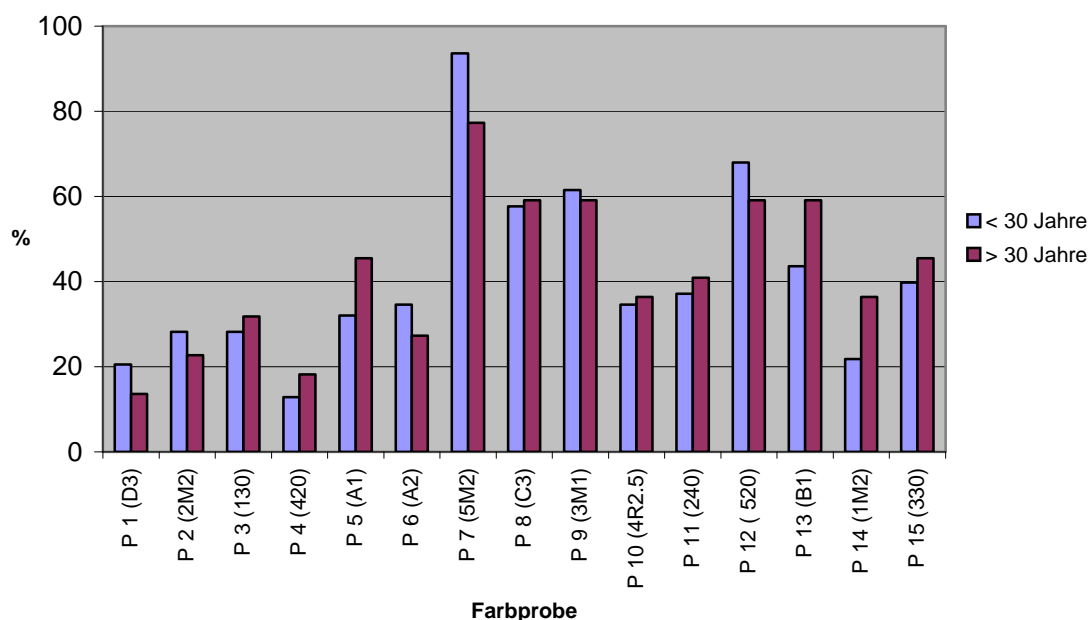


Abb. 19: Trefferquote nach Alter

4.1.2 Farbtüchtigkeit der Probanden

Bei der Überprüfung der Farbsicherheit machten 25 der insgesamt 100 Probanden Fehler. Bewertet wurde die Rot-Grün-Tüchtigkeit der Versuchsteilnehmer. Probanden, die Blau-Gelb-schwach oder Blau-Gelb-untüchtig waren, befanden sich nicht unter den Versuchsteilnehmern. Den Teilnehmern wurde die Möglichkeit gegeben, zweifelhafte Entscheidungen und Lesefehler zu korrigieren. Es wurde folgender Bewertungsmaßstab angewendet:

- 0 Fehler: farbtüchtig
- 2 – 5 Fehler: farbschwach
- > 5 Fehler: farbuntüchtig

4.1.2.1 Rot-Grün-Farbsehen differenziert nach Geschlecht

Bei der geschlechtsspezifischen Unterteilung in 39 Männer und 61 Frauen zeigten 3 Männer und 5 Frauen eine Rot-Grün-Schwäche. 3 der männlichen Versuchsteilnehmer und 2 der weiblichen Probanden waren rot-grün-blind.

4.1.2.2 Rot-Grün-Farbensehen differenziert nach Alter

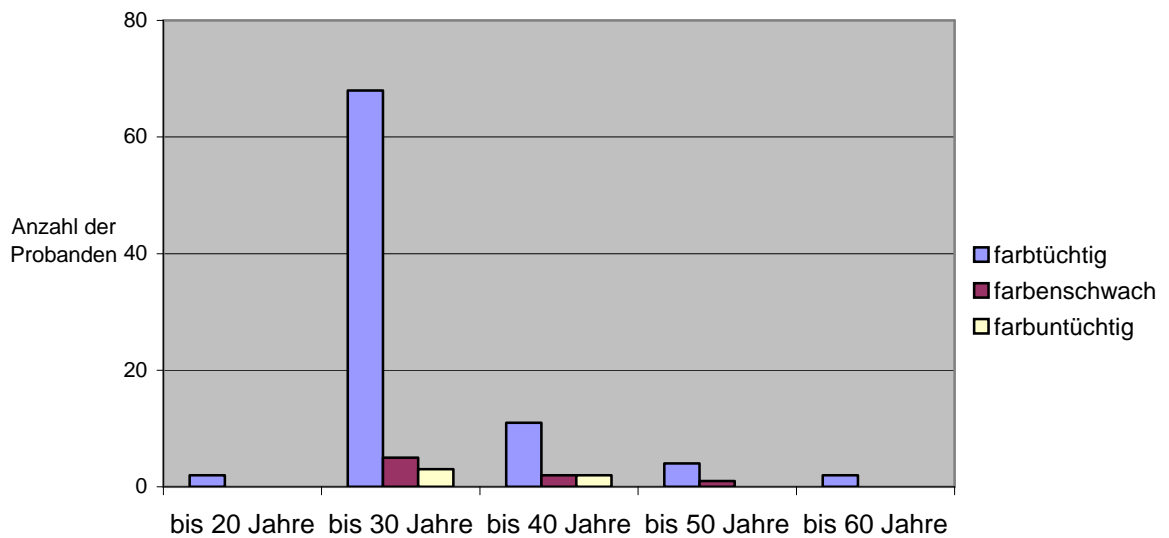


Abb. 20: Rot-Grün-Farbensehen differenziert nach Alter

In den Altersgruppen bis 20 und bis 60 Jahre waren alle Probanden farbtüchtig. In der 76 Testpersonen umfassenden Gruppe der bis 30-jährigen waren 5 Personen farbenschwach und 3 farbuntüchtig. Bei den bis 40-jährigen Versuchsteilnehmern waren jeweils 2 Personen farbenschwach bzw. farbuntüchtig. Ein Proband aus der Altersgruppe der bis 50-jährigen war rot-grün-schwach.

4.1.2.3 Rot-Grün-Farbsehen nach Berufsgruppen

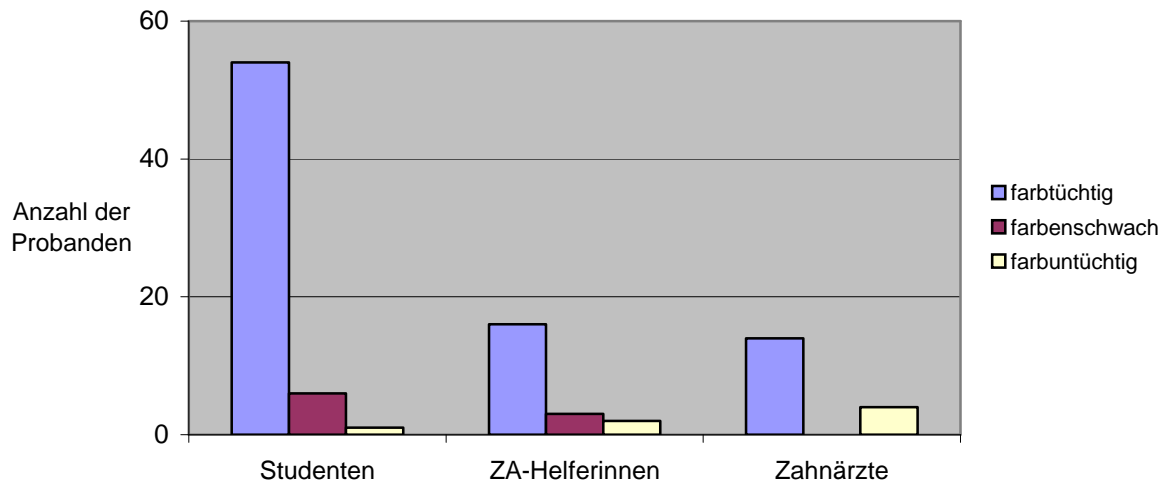


Abb. 21: Rot-Grün-Farbsehen differenziert nach Berufsgruppen

Bei der Überprüfung des Rot-Grün-Farbsehens in Abhängigkeit zur jeweiligen Berufsgruppe der Probanden verteilten sich die farbenschwachen bzw. die farbuntüchtigen Versuchsteilnehmer etwa gleichmäßig. So waren in der Studentengruppe von 61 Teilnehmern 6 farbenschwach und einer farbenblind. In der Gruppe der 21 Zahnarthelferinnen hatten 3 Helferinnen eine Farbschwäche und 2 waren farbenblind. Bei den Zahnärzten war kein Proband rot-grün-schwach aber 4 rot-grün-blind.

4.1.2.4 Trefferquoten der Probanden in Bezug zur Farbtüchtigkeit

Da sich unter den Untersuchungsteilnehmern niemand mit einer Farbsehschwäche im Blau-Gelb-Bereich befand, beschränkt sich die Analyse der Prüfwerte in Bezug zur Farbtüchtigkeit auf den Rot-Grün-Bereich, in dem sich 8 Probanden farbenschwach und 5 Versuchsteilnehmer farbuntüchtig zeigten.

Aus der Abb. 22 und der Tabelle 5 lässt sich ersehen, dass bei der Reproduktion der Zahnfarbmuster in Abhängigkeit zu den Parametern „farbtüchtig“, „farbenschwach“ und

„farbtüchtig“ kein statistisch relevanter Unterschied besteht ($p = 0,757$). Im Durchschnitt erzielte die Gruppe der Farbtüchtigen 6,2 Treffer, die der farbenschwachen Probanden 6,1 und die der farbtüchtigen Versuchsteilnehmer 5,4 Treffer. Die durchschnittliche prozentuale Verteilung der richtigen Farbmusterzuordnungen lässt sich der Tabelle 4 entnehmen. Dabei erreichten die farbtüchtigen 41,5 %, die Gruppe der farbenschwachen 40,8 % und die farbtüchtigen Probanden 36,0 % korrekte Zuordnungen.

Tabelle 5: Trefferquote in Abhängigkeit zur Farbtüchtigkeit in Prozent

Probe	P 1 (D3)	P 2 (2M2)	P 3 (130)	P 4 (420)	P 5 (A1)	P 6 (A2)	P 7 (5M2)	P 8 (C3)	P 9 (3M1)	P 10 (4R2.5)	P 11 (240)	P 12 (520)	P 13 (B1)	P 14 (1M2)	P 15 (330)
farbtüchtig	19,5	27,6	31,0	14,9	36,8	34,5	90,8	59,8	60,9	31,0	40,2	65,5	47,1	21,8	41,4
farbenschwach	0,0	12,5	25,0	12,5	25,0	25,0	87,5	62,5	62,5	62,5	37,5	75,0	37,5	37,5	50,0
farbtüchtig	40,0	40,0	0,0	0,0	20,0	20,0	80,0	20,0	60,0	60,0	0,0	60,0	60,0	60,0	20,0

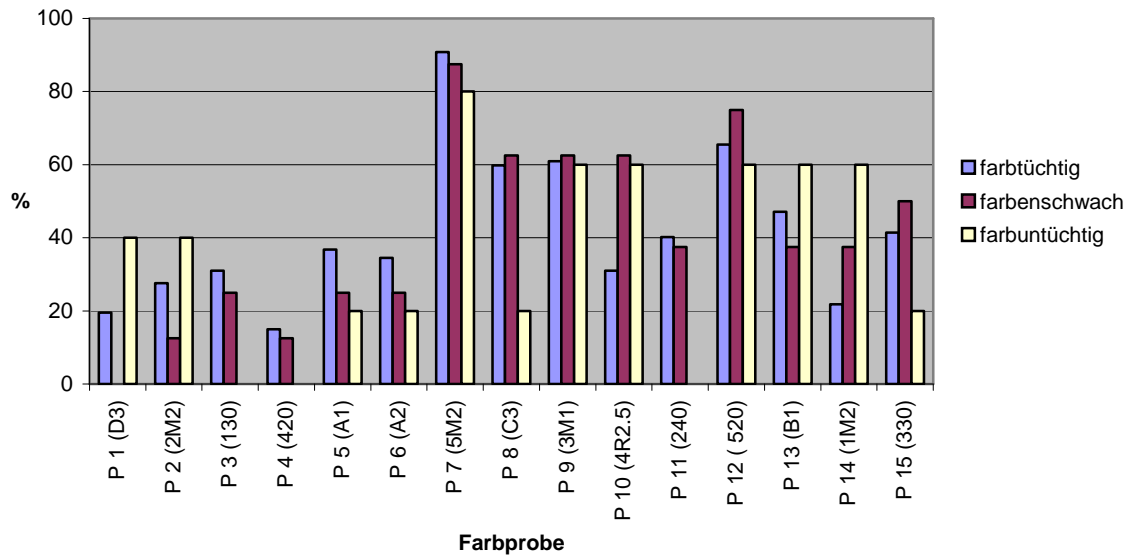


Abb. 22: Trefferquote in Abhängigkeit zur Farbtüchtigkeit

4.2 Farbreproduktionsergebnisse natürlicher Zahn

4.2.1 Farbreproduktionsergebnisse aller Probanden

Übereinstimmende Entscheidungen bei der Farbbestimmung unter Praxisbedingungen am Echtzahn trafen im Mittel 46 % aller Probanden.

Bezogen auf alle fünfzig Probanden der zweiten Untersuchungsreihe wurden auch hier zunächst ohne Aufschlüsselung der spezifischen Einzelgruppenzugehörigkeit (Beruf, Alter, Geschlecht) die Zahnfarben ermittelt, die prozentual am häufigsten ausgewählt wurden. Da die Farbauswahl unter klinischen Bedingungen an einem natürlichen Frontzahn vorgenommen wurde, war es nicht möglich, die Ergebnisse der Farbbestimmung wie im Fall der Keramikzahnmuster als absolut richtig oder falsch zu bewerten. Aus den Abb. 23, 24 und 25 wird deutlich, welche Zahnfarben aus den drei Farbringen übereinstimmend am häufigsten ausgesucht wurden. Im Fall der Vitapan-classical-Farbskala war das die Farbe A2, die 46 % der Probanden wählten. Demgegenüber entschieden sich 38 % aller Versuchsteilnehmer für das Farbmuster 130 aus dem Chromaskop-Farbringsystem. Die meisten Übereinstimmungen bei der Farbauswahl wurden mit dem Farbmuster 2M2 aus der Vitapan-3D-Master-Skala erreicht. Hier stimmten 54 % der Ergebnisse überein.

Daraus ergibt sich für den klinischen zweiten Versuchsteil folgende Rangfolge:

1. Vitapan-3D-Master (54 %)
2. Vitapan-classical (46 %)
3. Chromaskop (38 %)

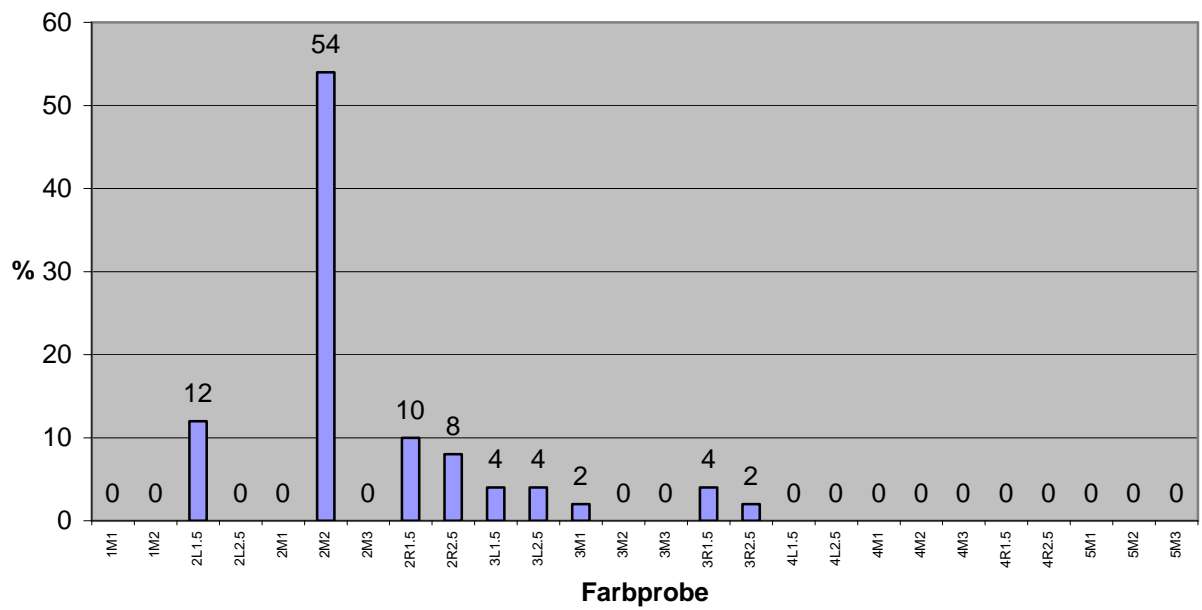


Abb. 23: Ergebnisse der Farbauswahl mit der 3-D-Master-Farbskala

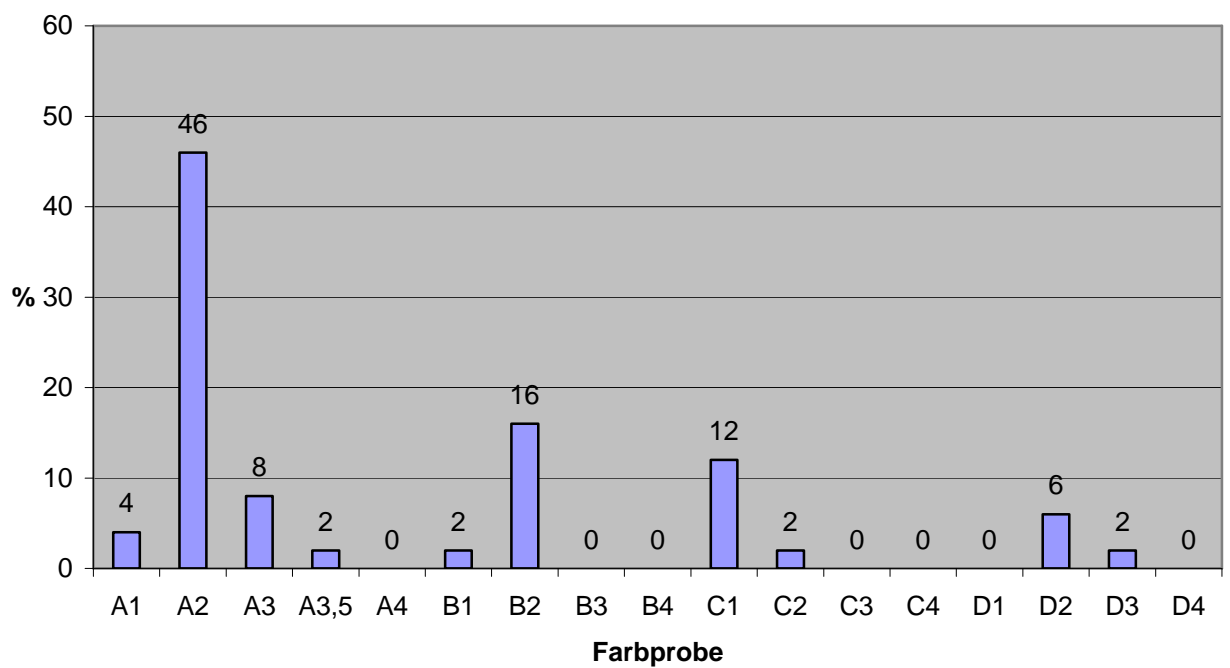


Abb. 24: Ergebnisse der Farbauswahl mit der Vitapan-classical-Farbskala

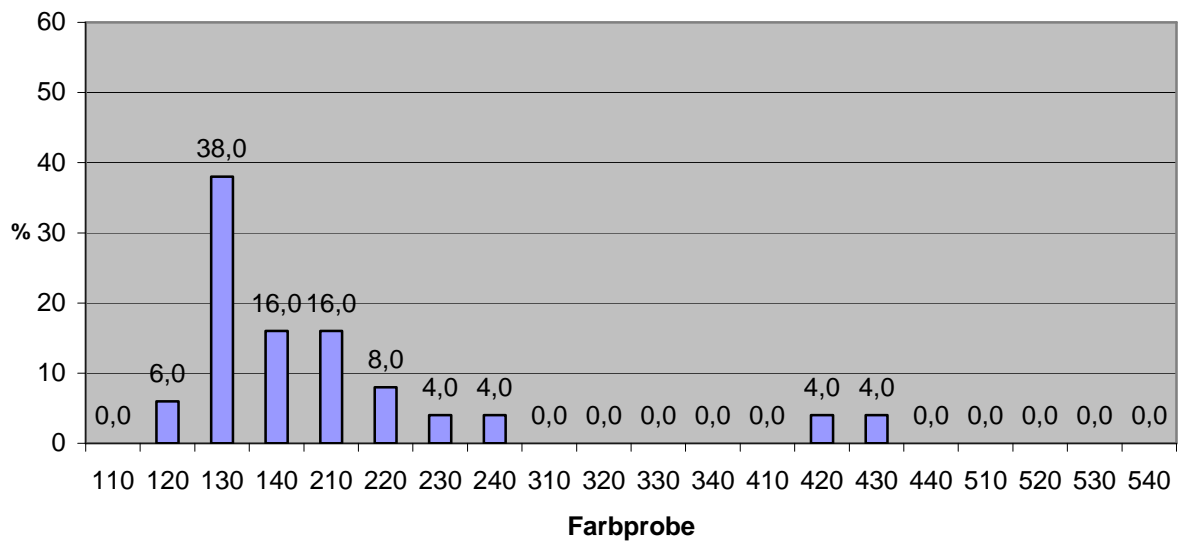


Abb. 25: Ergebnisse der Farbauswahl mit der Chromaskop-Farbskala

4.2.2 Ergebnisse der Probanden nach Geschlecht

In den Abb. 26 bis 28 und der Tabelle 6 sind die häufigsten Übereinstimmungen bei der Farbauswahl der 27 weiblichen und 23 männlichen Probanden des zweiten Versuchsteils dargestellt. Es sind deutliche geschlechtsspezifische Unterschiede festzustellen. In der Gesamtprobandengruppe entschieden sich 52,2 % der Männer für dieselbe Zahnfarbe. Die Frauen stimmten demgegenüber im prozentualen Durchschnitt in nur 40,7 % der Fälle überein. Das heißt im Mittel erreichten 11,2 % mehr Männer übereinstimmende Ergebnisse als die Frauen.

Für die Vitapan-classical-Farbskala teilen sich Ergebnisse der weiblichen und männlichen Versuchsteilnehmer entsprechend der Darstellung in der Abb. 26 wie folgt auf: 52,2 % der männlichen Probanden entschieden sich für das Farbmuster A2, und auch bei den weiblichen Teilnehmern wählten mit 40,7 % der Gesamtgruppe die Farbe A2 am häufigsten aus.

Tabelle 6: Ergebnisse nach Geschlecht in Prozent (Vitapan-classical)

Probe	A1	A2	A3	A3,5	B1	B2	C1	C2	D2	D3
männlich	0	52,2	4,3	4,3	0	21,7	8,7	0	4,3	4,3
weiblich	7,4	40,7	11,1	0	3,7	11,1	14,8	3,7	7,4	0

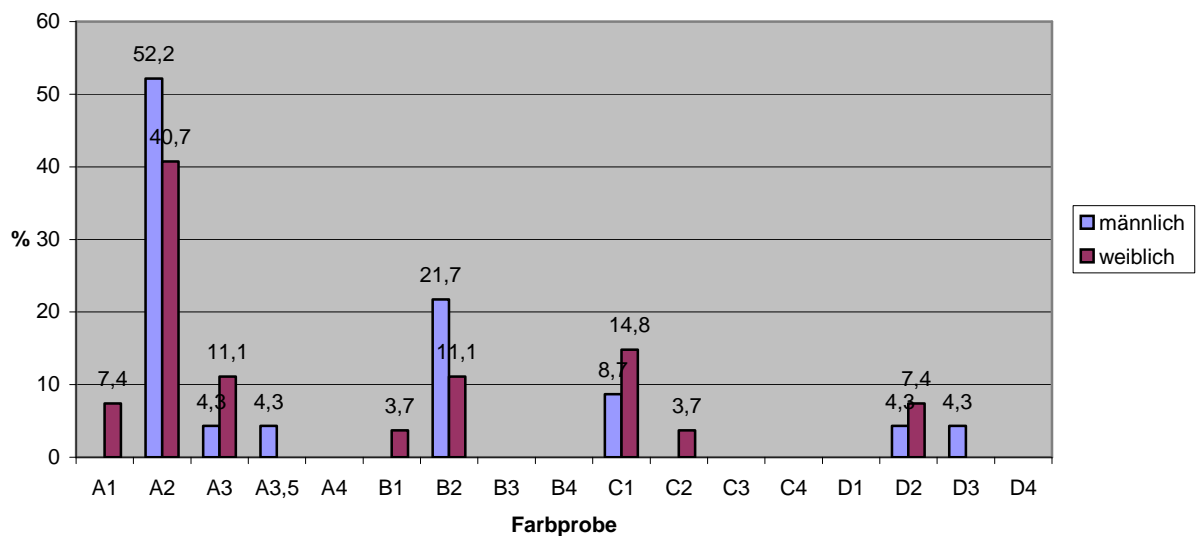


Abb. 26: Ergebnisse nach Geschlecht (Vitapan-classical)

Abb. 27 und Tabelle 7 zeigen die Ergebnisse für die Chromaskop-Farbskala auf. Übereinstimmend wurde, bezogen auf die Gesamtgruppe der Versuchsteilnehmer, aus dieser Skala am häufigsten das Farbmuster 130 ausgewählt. 43,5 % aller Männer und 33,3 der Frauen entschieden sich für diese Zahnfarbe.

Tabelle 7: Ergebnisse nach Geschlecht in Prozent (Chromaskop)

Probe	120	130	140	210	220	230	240	420	430	
männlich	8,7	43,5	4,3	21,7	8,7	0	4,3	4,3	4,3	
weiblich	3,7	33,3	25,9	11,1	7,4	7,4	3,7	3,7	3,7	

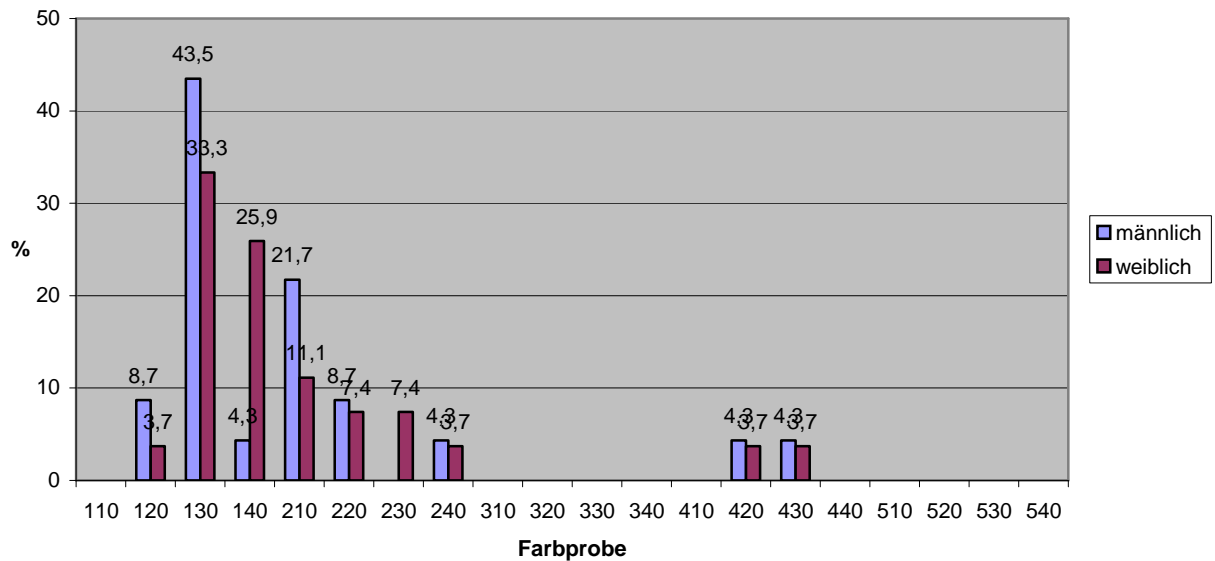


Abb. 27: Ergebnisse nach Geschlecht (Chromaskop)

Für die Gruppe der männlichen und weiblichen Versuchsteilnehmer ergab sich die größte Differenz bei den Übereinstimmungen der Farbauswahl für das Vitapan-3D-Master-Farbringsystem. 60,9 % der Männer entschieden sich für die Zahnfarbe 2M2. Bei den Frauen waren es mit 48,1 % 12,8 % weniger (Abb. 28 und Tabelle 8).

Tabelle 8: Ergebnisse nach Geschlecht in Prozent (Vitapan-3-D-Master)

Probe	2L1.5	2M2	2R1.5	2R2.5	3L1.5	3L2.5	3M1	3R1.5	3R2.5
männlich	4,3	60,9	8,7	8,7	4,3	0	4,3	4,3	4,3
weiblich	18,5	48,1	11,1	7,4	3,7	7,4	0	3,7	0

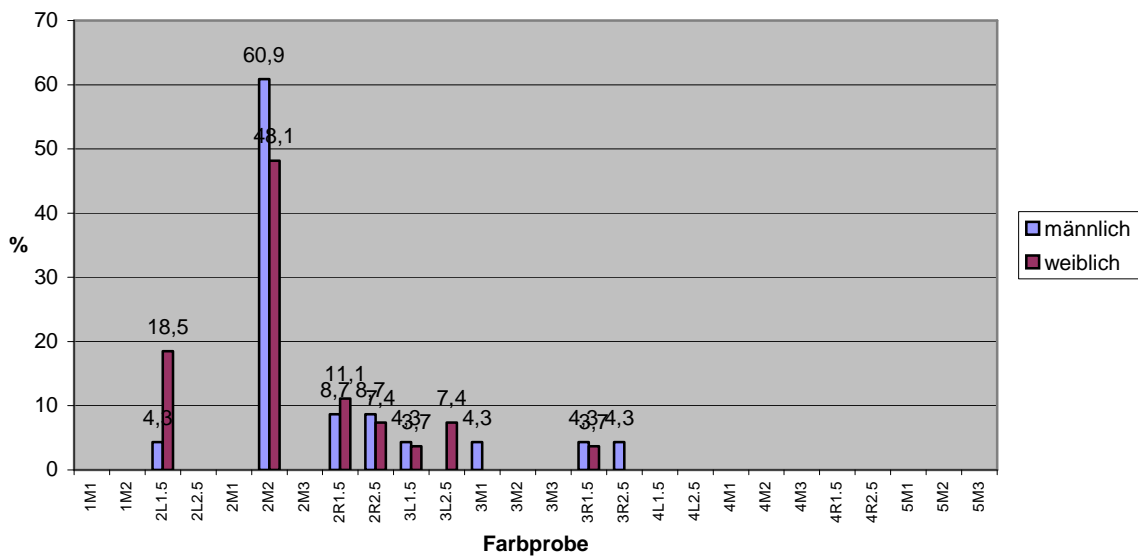


Abb. 28: Ergebnisse nach Geschlecht (Vitapan-3-D-Master)

4.2.3 Ergebnisse der Probanden nach Beruf

Die Gesamtprobandengruppe teilt sich bezüglich ihrer Berufsgruppenzugehörigkeit in 11 Zahnärzte und 39 Studenten auf. In den Abb. 29, 30, 31 und den Tabellen 9, 10 und 11 sind die Ergebnisse der Versuchsteilnehmer nach Beruf aufgeschlüsselt. Bezogen auf alle drei in der Versuchsreihe verwendeten Farbringsysteme wählte die Gruppe der Studenten in durchschnittlich 39,3 % der Zahnfarbbestimmungen eine übereinstimmende Farbe aus. Bei den Zahnärzten ergaben sich mit prozentual durchschnittlich 69,7 % deutlich bessere Ergebnisse. Im Mittel schnitten damit die Studenten mit 30,4 % weniger Übereinstimmungen erheblich schlechter ab als die Zahnärzte.

Laut Tabelle 9 und Abb. 29 wurde die Farbe A2 aus der Vitapan-classical-Farbskala von 41,0 % der Studenten und von 63,6 % der Zahnärzte ausgewählt.

Tabelle 9: Ergebnisse der Probanden nach Beruf in Prozent (Vitapan-classical)

Probe	A1	A2	A3	A3,5	B1	B2	C1	C2	D2	D3
Student	5,1	41,0	10,3	2,6	2,6	15,4	15,4	2,6	2,6	2,6
Zahnarzt	0	63,6	0	0	0	18,2	0	0	18,2	0

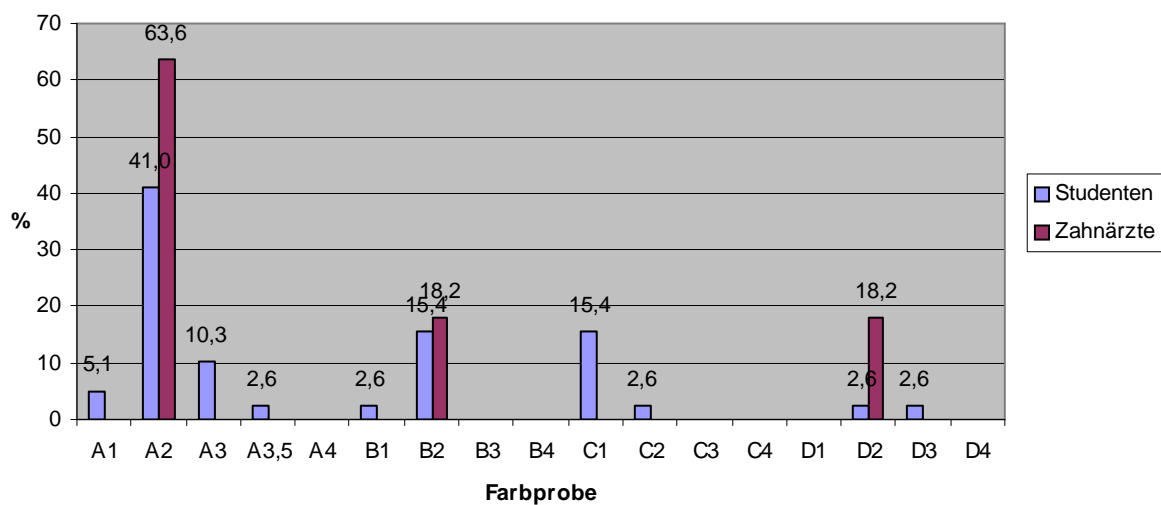


Abb. 29: Ergebnisse der Probanden nach Beruf (Vitapan-Classical)

Für das Farbringsystem Chromaskop ergab sich die größte Differenz bezüglich der übereinstimmend festgelegten Zahnfarben innerhalb der beiden Berufsgruppen (Tabelle 10 und Abb. 30). 72,7 % der Zahnärzte stimmten hier überein, wohingegen nur 28,2 % der Studenten sich auf eine gemeinsame Zahnfarbe 130 festlegten.

Tabelle 10: Ergebnisse der Probanden nach Beruf in Prozent (Chromaskop)

Probe	120	130	140	210	220	230	240	420	430
Student	5,1	28,2	17,9	17,9	10,3	5,1	5,1	5,1	5,1
Zahnarzt	9,1	72,7	9,1	9,1	0	0	0	0	0

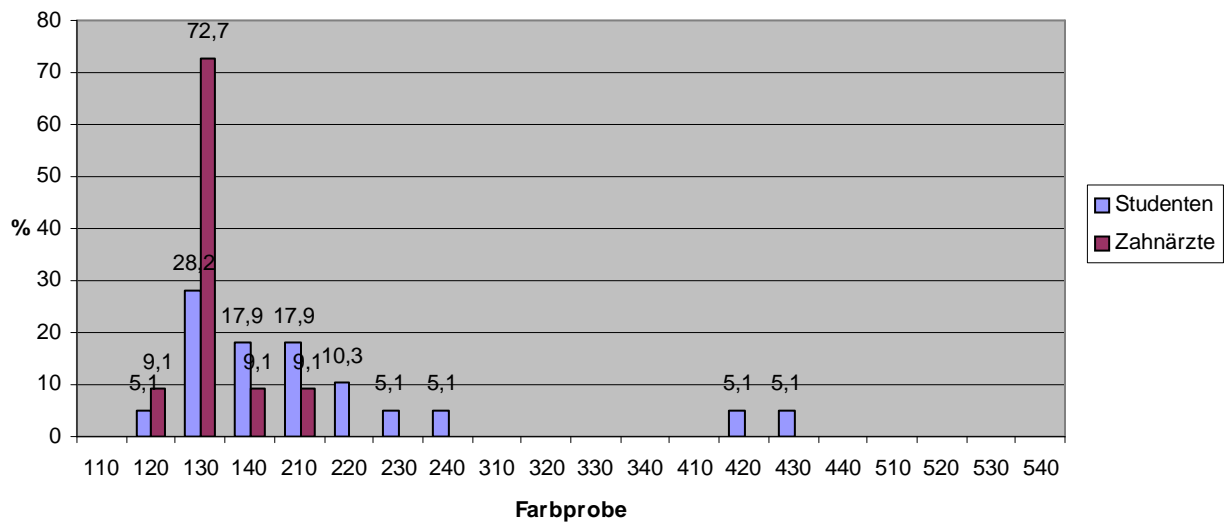


Abb. 30: Ergebnisse der Probanden nach Beruf (Chromaskop)

In der Tabelle 11 und der Abb. 31 zeigte sich für den Vitapan-3D-Master mit 72,7 % eine deutlich höhere Übereinstimmungsquote bei den Zahnärzten. Übereinstimmende Ergebnisse gab es in der Gruppe der Studenten nur in 48,7 % der Farbnahmen. Die am häufigsten ausgewählte Farbmusterprobe war in beiden Berufsgruppen die Farbe 2M2.

Tabelle 11: Ergebnisse der Probanden nach Beruf in Prozent (Vitapan-3-D-Master)

Probe	2L1.5	2M2	2R1.5	2R2.5	3L1.5	3L2.5	3M1	3R1.5	3R2.5
Student	12,8	48,7	7,7	10,3	5,1	5,1	2,6	5,1	2,6
Zahnarzt	9,1	72,7	18,2	0	0	0	0	0	0

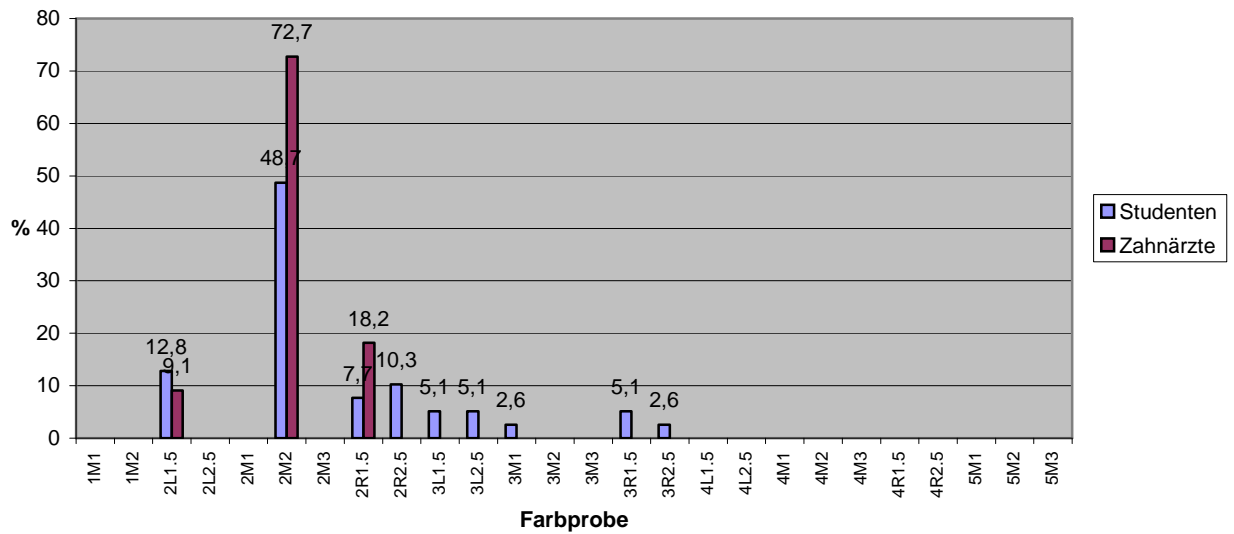


Abb. 31: Ergebnisse der Probanden nach Beruf (Vitapan-3-D-Master)

4.2.4 Ergebnisse der Probanden nach Alter

Die Ergebnisse wurden entsprechend den drei untersuchten Farbringssystemen aufgeschlüsselt, um für jede Skala darzustellen, welche Zahnfarbe in der jeweiligen Altersgruppe (< 30 Jahre und > 30 Jahre) prozentual am häufigsten ausgewählt wurde.

Mit der Tabelle 12 und Abb. 32 wird gezeigt, dass sowohl die 36 Probanden unter 30 Jahren und die 14 Versuchsteilnehmer über 30 Jahren aus der Vitapan-classical-Farbskala prozentual am häufigsten die Farbe A2 aussuchten. 47,2 % der Versuchsteilnehmer unter 30 Jahren und 42,9 % der über 30-jährigen wählten diese Zahnfarbe aus.

Tabelle 12: Übereinstimmung der Farbwahl nach Alter in Prozent (Vitapan-classical)

Probe	A1	A2	A3	A3,5	B1	B2	C1	C2	D2	D3
< 30 Jahre	6,0	47,2	11,1	2,8	2,8	13,9	11,1	0	6,0	0
> 30 Jahre	0	42,9	0	0	0	21,4	14,3	7,1	7,1	7,1

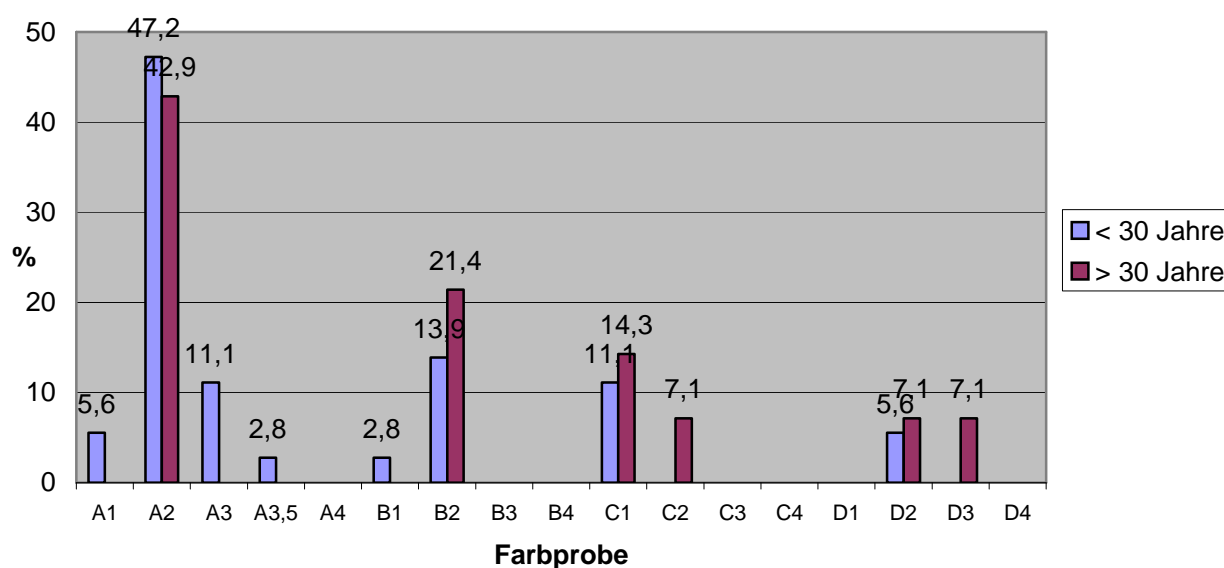


Abb. 32: Übereinstimmung der Farbwahl nach Alter (Vitapan-classical)

Für das Chromaskop-Farbringsystem werden in der Tabelle 13 und der Abb. 33 die Unterschiede zwischen den beiden Altersgruppen sichtbar. In der Gesamtgruppe wurde die Farbe 130 am häufigsten bestimmt. Im Einzelnen entschieden sich mit 50,0 % der Probanden über 30 Jahre deutlich mehr Teilnehmer für die gleiche Zahnfarbe als in der Gruppe der unter 30-jährigen. Von denen legten sich nur 33,3 % auf dieselbe Farbmusterprobe fest.

Tabelle 13: Übereinstimmung der Farbwahl nach Alter in Prozent (Chromaskop)

Probe	120	130	140	210	220	230	240	420	430
< 30 Jahre	6,0	33,3	22,2	16,7	8,3	6,0	2,9	0	6,0
> 30 Jahre	7,1	50,0	0	14,3	7,1	0	7,1	14,3	0

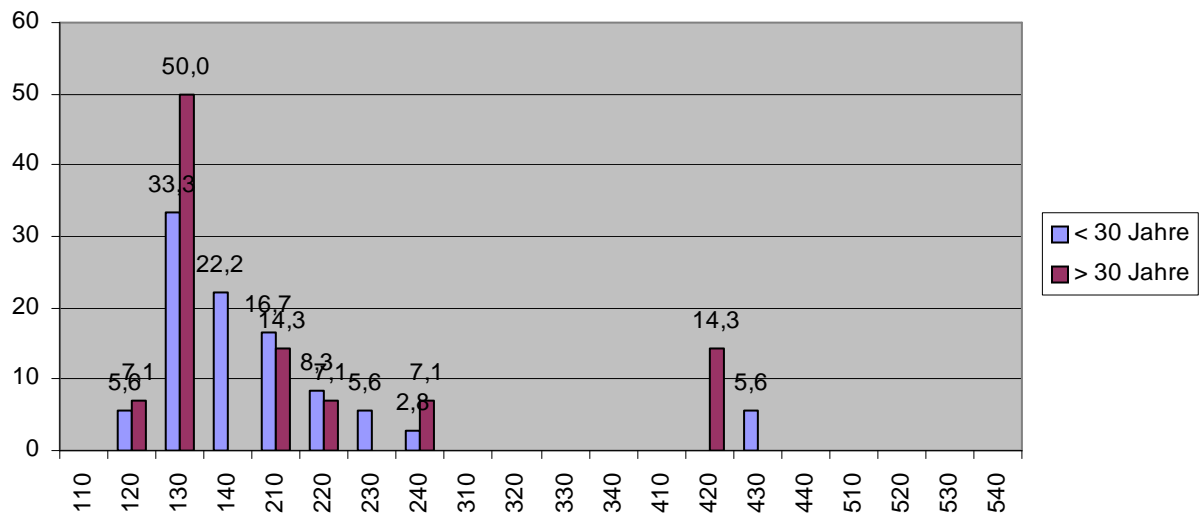


Abb. 33: Übereinstimmung der Farbwahl nach Alter (Chromaskop)

Am häufigsten wurde aus der Vitapan-3D-Master-Farbskala von den Probanden aus beiden Altersgruppen die Farbe 2M2 ausgewählt. Wie in der Tabelle 8 und in der Abb. 34 dargestellt, entschied sich die Altersgruppe der unter 30-jährigen mit 58,3 % deutlich häufiger für diese Zahnfarbe als die über 30-jährigen, die sich in 42,9 % der Farbnahmen für die Zahnfarbe 2M2 entschieden.

Tabelle 8: Übereinstimmung der Farbwahl nach Alter in Prozent (Vitapan-3D-Master)

Probe	2L1.5	2M2	2R1.5	2R2.5	3L1.5	3L2.5	3M1	3R1.5	3R2.5
< 30 Jahre	13,9	58,3	5,6	8,3	5,6	5,6	0	0	2,8
> 30 Jahre	7,1	42,9	21	7,1	0	0	7,1	14,3	0

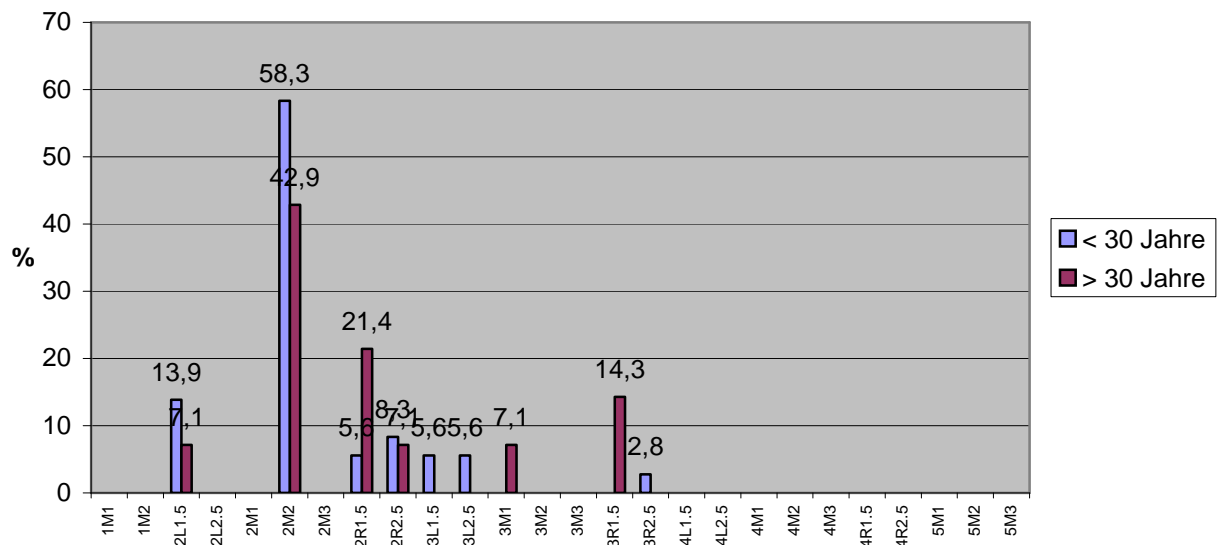


Abb. 34: Übereinstimmung der Farbwahl nach Alter (Vitapan-3D-Master)

5 Diskussion

5.1 Diskussion der Methode

Die bei den durchgeführten Untersuchungen ermittelten Ergebnisse sind im Hinblick auf die angewandten Methoden sowie auf die Farbbestimmungsgeräte selbst zu diskutieren. Die grundsätzliche Schwierigkeit bei der Bewertung eines Farbringsystems besteht darin, dass eine metrisch-objektive Erfassung bzw. eine absolute Bestimmung der Zahnfarben, speziell für den zweiten klinischen Teil der Arbeit, nicht möglich ist. Die in wissenschaftlichen Untersuchungen übliche „Referenz- oder Kontrollgruppe“ steht somit nicht zur Verfügung und erschwert so die Wahl einer adäquaten Methodik erheblich. Um die Reproduzierbarkeit visueller Zahnfarbenbestimmungen im Rahmen dieser Arbeit zu überprüfen, wurden mit der Vitapan-classical- und der Chromaskop-Farbskala zwei in der Poliklinik für Zahnerhaltung häufig eingesetzte Farbringsysteme verwendet. Demgegenüber sollte der neu entwickelte Vitapan-3D-Master-Farbschlüssel auf seine Handhabung und seine Ergebnisse bei der Farbwiedergabe untersucht werden. Es kam jeweils nur ein fabrikneuer Farbring des jeweiligen Herstellers zur Anwendung. Grundlegende Probleme einer korrekten Farbbestimmung können einerseits die mangelnde Farbtreue innerhalb der Produktpalette eines Herstellers und andererseits die fehlende Übereinstimmung einzelner Zahnfarbmuster der verschiedenen Anbieter sein [65]. So unterliegen Farbringsysteme keinen DIN-Normen. **Preston** und **Schiffdecker** stellten in einer Untersuchung fest, dass bei verschiedenen Vita-Lumin-Vacuum-Farbskalen für einzelne Farbmuster mit gleicher Farbangabe mit bloßem Auge Farbunterschiede zu erkennen waren. Eine zu hohe Toleranz im Herstellungsprozess der Farbringe sowie der firmeneigenen Farbkontrolle wirken sich auf die Farbkonstanz aus. Farbringsysteme verschiedener Hersteller lassen darüber hinaus eine deutlich voneinander abweichende Farbtreue erkennen [4, 52, 60].

Nach Angaben der Abteilung für Forschung und Entwicklung der Firma Vita-Zahnfabrik werden heute durch eine wesentliche Änderung im Fertigungsprozess deutlich konstantere Zahnfarbmuster erreicht. Die Keramiken für die Farbringsysteme Vitapan-classical und den Vitapan-3D-Master werden in einem Ofen gemeinsam mit „Ur-Standard“ Proben gebrannt. Überprüft werden die Ergebnisse aber weiterhin visuell und mit Hilfe einer Ulbrichtkugel. Lage- und temperaturabhängige Schwankungen treten auf und beeinflussen das Brennresultat ebenso, wie beispielsweise die Alterungskurve eines Brennofens.

Auf Grund der Transluzenz dentalkeramischer Massen lassen sich für sie DIN-Normen weiterhin nicht anwenden.

Der Vergleich der drei Farbringsysteme birgt das Problem, dass die untersuchten Farbskalen unterschiedliche Limitationen aufweisen. **Junker-Malcharek** zeigten beispielsweise in einer Untersuchung, dass beim Vitapan-classical-Farbring im Vergleich zum Vitapan-3D-Master-Farbssystem große Abschnitte des dreidimensionalen Farbraumes nicht berücksichtigt werden [36]. Im Vergleich der Farbringsysteme wäre sowohl beim Chromaskop- als auch beim Vitapan-classical-Farbschlüssel aufgrund der geringeren Anzahl der verfügbaren Muster eine scheinbar größere Übereinstimmung bei einzelnen Farben zu erwarten gewesen. In der vorliegenden Arbeit wurde zum einen die Methode einer realen Farbbestimmung am Patienten gewählt, um einerseits einer klinischen Situation gerecht zu werden und andererseits die Farbwahl unter Laborbedingungen vorgenommen, um die Farbproduktionsergebnisse für beide Situationen miteinander vergleichen zu können. Als Parameter für die Auswertung und Bewertung der drei Farbringsysteme wurde die Treffsicherheit bei der Farbauswahl gewählt. Dieser Wahl lag die Überlegung zugrunde, dass ein ideales Farbringsystem auch bei unterschiedlichen Untersuchern stets dasselbe Ergebnis liefern sollte. Für die beiden Versuchsreihen würde das im Idealfall bedeuten, dass alle Untersucher sich auf eine eindeutige Zuordnung eines Farbmusters zu einer Keramikprobe oder dem Echtzahn hätten festlegen können.

Zur Herstellung der 15 Keramikprobenkörper wurde von der Firma Vita-Zahnfabrik eine entsprechende Anzahl KaVo-Kunststoffzähne (Zahn 12) im Sinne eines Veneers präpariert. Die Probenkörper für die Farbmuster der firmeneigenen Farbringe konnten vom Hersteller

direkt gefertigt und in der anatomischen Form den KaVo-Zähnen angepasst werden (siehe Abb. 11). Die Farbmuster aus dem Chromaskop-Farbsystem der Firma Ivoclar / Vivadent konnten durch die Firma Vita technisch nicht in gleicher Weise erstellt werden. Dazu fehlten die genaue Zusammensetzung der Farbkomponenten und die zur Herstellung benötigten Materialien. So wurden in die vorbereiteten Kunststoffzähne die Keramikmuster aus einer originalen Chromaskop-Farbskala eingearbeitet. Der Nachteil, dass die Proben nicht exakt der äußeren Form des verwendeten KaVo-Zahnes entsprachen, relativierte sich dadurch, dass die Proben einen höheren Wiedererkennungswert im Chromaskop-Farbring hatten, da sie über eine entsprechend ähnliche anatomische Form verfügten. Um systematische Fehler zu vermeiden, die durch den Einfluss des Hintergrundes auf die keramischen Massen und deren transluzenter Wirkung entstehen können, betrug die Dicke der individuell hergestellten Keramikproben im Bereich des mittleren Drittels des Probenkörpers etwa 6 mm. In der Literatur wird ab dieser Schichtstärke von der „unendlichen optischen Stärke“ gesprochen [4, 50]. Übertragen auf die Wahl des Farbbestimmungsortes am Zahn heißt dies, dass die Bewertung durch die Versuchsteilnehmer in der Probenmitte bzw. im Bereich des Zahnäquators erfolgen sollte. Unterschiedliche Farbeindrücke durch die verschiedenen Keramikmassen und deren Schichtstärken im Bereich beispielsweise der Schneidekante und des Zahnhalses können dadurch minimiert werden [38, 44].

Um zu verhindern, dass durch eine variierende Messortwahl Fehler in die Untersuchungsergebnisse einfließen, wurden die Zahnfarbbestimmungen der Probanden im ersten Teil der Untersuchung immer im Phantomkurssaal der Poliklinik für Zahnerhaltung durchgeführt. Idealerweise erfolgt die Farbnahme im Laborversuch unter gleichbleibenden genormten Lichtverhältnissen. Da der Kurssaal über eine Fensterfront an der Nordseite verfügte, hatten neben den künstlichen Lichtquellen auch die jeweiligen Tageslichtverhältnisse Einfluss auf die Farbwahl. Die Idealbedingungen, die Farbbestimmung an einem klaren Tag um 11.00 Uhr am Vormittag vorzunehmen, ließen sich in der Praxis für die Versuchsdurchläufe der einzelnen Probanden nicht immer erfüllen.

Um für den zweiten klinischen Untersuchungsabschnitt möglichst praxisnahe Versuchsbedingungen zu schaffen wurden die Zahnfarbbestimmungen in einem Behandlungszimmer der Poliklinik für Zahnerhaltung des Zentrums für Zahn- Mund- und Kieferheilkunde der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster vorgenommen. Da die Behandlungsräume über keine Fenster verfügen, herrschten für die ganze Versuchsdauer immer identische Kunstlichtverhältnisse. Alle Probanden des zweiten Versuchsteils bestimmten die Zahnfarbe am selben Zahn einer „Versuchspatientin“. Ein Nachteil für die Vergleichbarkeit der beiden Untersuchungsabschnitte ist, dass die Farbbestimmungen von anderen Versuchsteilnehmern als im ersten Untersuchungsabschnitt vorgenommen wurden und dass die Lichtverhältnisse nicht identisch waren.

Problematisch bei der gewählten Vorgehensweise für die In-vivo-Untersuchungsreihe ist die qualitative Auswertung der Ergebnisse. Die Analyse gibt nur wieder, mit welcher Häufigkeit und welcher Übereinstimmung eine Zahnfarbe für einen untersuchten Zahn bestimmt worden ist. Es ist zwar davon auszugehen, dass die von der Mehrzahl der Probanden am häufigsten ausgewählte Zahnfarbe am ehesten die objektiv zutreffende Farbe darstellt, aber aus den Resultaten kann nicht wirklich geschlussfolgert werden, ob diese Arbeitshypothese tatsächlich zutrifft.

5.2 Diskussion der Ergebnisse

5.2.1 Probandenversuch

Zusammenfassend kann für diese Studie festgestellt werden, dass die mittlere Trefferquote der Probanden deutlich unter den Erwartungen lag. Dabei erfolgte die auf den ersten Blick relativ einfache Zuordnung von normierten, gleichen keramischen Zahnfarbmustern nur in höchstens 47,6 % der Farbbestimmungen korrekt. Im zweiten klinischen Teil der Untersuchung erzielten ähnlich viele, nämlich im Mittel 46 % der Probanden, übereinstimmende Ergebnisse bei der visuellen Bestimmung der Zahnfarbe. Vergleichend belegte **Goodkind** bei der Farbbestimmung von 100 extrahierten Zähnen Werte von 45 % Übereinstimmung bei der visuellen Farbnahme [26]. **Wee** bestätigte bei 40 % übereinstimmende Ergebnisse bei der Farbauswahl [85].

Im Ergebnis erwiesen sich in der vorliegenden Studie das Geschlecht und die Berufsgruppenzugehörigkeit der Probanden als wichtigster Einflussfaktor bei der visuellen Bestimmung von Zahnfarben. Da im ersten Teil dieser Untersuchung die Teilnehmerzahlen der verschiedenen Altersgruppen sehr stark differieren, kann diesbezüglich keine vergleichende statistische Auswertung vorgenommen werden. Weitere Einflussgrößen, wie die Farbtüchtigkeit einer Person, sind oft durch die Berufserfahrung eines Farbnehmers überlagert. An der ersten Testreihe nahmen jedoch fast ausschließlich Probanden mit wenig oder keiner Berufserfahrung teil, so dass auch dieser Umstand für diesen Teil nicht gesondert ausgewertet werden konnte.

5.2.2 Handhabung der Farbringsysteme

Die Erfahrung bei der Zahnfarbbestimmung beschränkt sich in der Regel auf den vom Behandler routinemäßig verwendeten Farbring. Bei der Verwendung eines Farbringsystems, mit dem der Behandler noch nicht vertraut ist, ist nach **Faber** eine Einführung in die neue Handhabung erforderlich. Dabei ist die Erfahrung mit dem bisher verwendeten Zahnfarbring nicht von Bedeutung [22]. Die drei Farbringsysteme, die in der vorliegenden Studie verglichen wurden, haben sich als relativ einfach zu handhabende Hilfsmittel zur visuellen Zahnfarbenbestimmung erwiesen. Durch die Erhöhung der Farbmusteranzahl von 16 der Vitapan-classical-Farbskala auf 26 der Vitapan-3D-Master-Farbskala bedarf es einer geringfügig verlängerten Farbbestimmungszeit. Da die für die Vitapan-3D-Master-Farbskala empfohlene Schrittfolge von der Bestimmung der Helligkeit über die Farbintensität zum Farbton ungewohnt ist, erfordert die Handhabung eine entsprechende Eingewöhnungsphase [36].

Während der Labortestreihe entstand bei der Autorin der Eindruck, dass das Auffächern und Sortieren der in einem Fach verankerten Farbmuster des Vitapan-3D-Master-Farbschlüssels für die Teilnehmer ein Problem darstellte, das zu deutlich längeren Farbbestimmungszeiten führte und sich entsprechend in der Beurteilung der Handhabung niederschlug. Die Farbnahme mit der Vitapan-3D-Master-Farbskala wurde von den Probanden als eher kompliziert, aufwendig und schwierig beschrieben. Im Ergebnis der vorliegenden Arbeit zeigte sich jedoch, dass mit einiger Übung mit dem Vitapan-3D-Master-Farbringsystem die größte Treffsicherheit und damit die besten Ergebnisse bei der Farbproduktion erreicht werden konnten. Das galt sowohl für den Laborversuchsteil als auch für den klinischen Teil der Studie. Ein weiterer Vorteil gegenüber den anderen untersuchten Farbskalen ist die Möglichkeit, Zwischenfarben zu interpolieren. Kommt es im Ausnahmefall vor, dass die zu definierende natürliche Zahnfarbe „in der Mitte“ zweier 3D-Master-Farben liegt, kann diese Farbe durch das jeweilige Material präzise und leicht reproduziert werden [77]. So kann z. B. 3M2 mit 3M3 gemischt werden, um die Farbe 3M2.5 zu erhalten.

5.2.3 Keramikmuster

Die erwarteten Einflüsse [3, 32, 69, 70] durch Farbtüchtigkeit, Altersgruppenzugehörigkeit und den ausgeübten Beruf der 100 Versuchsteilnehmer auf das Untersuchungsergebnis des In-vitro-Versuchs konnten im Rahmen dieser Arbeit statistisch nicht nachgewiesen werden. Es waren weder eine berufsspezifische Unterscheidung noch ein Zusammenhang zwischen dem Ergebnis der Farbauswahl und dem jeweiligen Alter bzw. der Farbtüchtigkeit nachweisbar. Das heißt jedoch sicher nicht, dass diese Einflüsse immer unbedeutend sein müssen. Hier wurden diese Faktoren jedoch überlagert. So gehörten 76 % der Versuchsteilnehmer der Altersgruppe der 20- bis 30-jährigen an. Über eine längere Berufserfahrung, die einen positiven Einfluss auf die Treffergenauigkeit erwarten ließe, verfügten also weder die Gruppe der Zahnärzte noch die der Studenten. Eine Studie von **Sproull** [68, 27] lässt den Schluss zu, dass in der universitären Ausbildung der Zahnmedizinstudenten die Problematik der korrekten Zahnfarbenbestimmung einen zu geringen Stellenwert einnimmt. Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung bestätigen den Eindruck, dass sich bis heute daran nichts Grundlegendes geändert hat. Der Ausbildungsplan der Univ.-ZMK-Klinik Münster sieht beispielsweise keine ausführliche Behandlung des Themenkomplexes „visuelle Zahnfarbenbestimmung“ vor.

Innerhalb dieser Versuchsreihe scheint die Geschlechtszugehörigkeit den wichtigsten Einfluss auf das Reproduktionsergebnis zu nehmen. Es entsteht der Eindruck, dass sich die Annahme bestätigt, wonach Frauen ein besseres Farbempfinden als Männern nachgesagt wird [36]. Die weiblichen Probanden erzielten im Vergleich zu den männlichen Versuchsteilnehmern hochsignifikant bessere Testergebnisse. Diese Resultate werden durch verschiedene Untersuchungen bezüglich des Farbensinns von Männern und Frauen bestätigt. Männer sind statistisch mit ca. 8 % der Bevölkerung im Vergleich zu ca. 0,4 % der weiblichen Bevölkerung deutlich häufiger von den verschiedenen Formen der Farbfehlsichtigkeiten betroffen. Hieraus können sich direkte Einflüsse auf das Farbbestimmungs- und Reproduktionsvermögen der verschiedenen Geschlechter ergeben [47, 78]. Die bessere Eignung von Frauen als Farbnehmer wird von **Junker-Malcharek** [36] zwar bestätigt, **Donahue et al.** kamen demgegenüber in ihrer Untersuchung zu dem Ergebnis, dass Frauen

keine höheren Übereinstimmungswerte bei der Farbauswahl erreichen als Männer [19]. Auch nach Aussage von **Faber** gibt es keinen Einfluss von Alter oder Geschlecht auf die Farbbestimmung [23].

5.2.4 Echtzähne

Die Farbtüchtigkeit und das Alter sind für diesen Teil der Untersuchung nicht die entscheidenden Faktoren. Das Verhältnis von weiblichen zu männlichen Probanden ist mit 27 zu 23 fast ausgeglichen. Im Gegensatz zur ersten Versuchsreihe erzielten die Männer mit allen drei Farbringsystemen tendenziell bessere Ergebnisse. Den wichtigsten Einfluss scheint hier aber der Beruf und die daraus resultierende Erfahrung zu haben. Die Zahnärzte, von denen 8 männlich und 3 weiblich waren, erzielten im Vergleich zur Studentengruppe deutlich mehr übereinstimmende Resultate. Des Weiteren zeigten die übereinstimmend ausgewählten Zahnfarben in der Gruppe der Zahnärzte eine deutlich kleinere Bandbreite als bei den Studenten. Die guten Ergebnisse der Zahnärzte dürften darauf beruhen, dass sie Zahnfarbbebestimmungen im Praxisalltag wahrscheinlich häufiger vornehmen als die Studierenden und somit für diesen Arbeitsgang mehr Erfahrung sammeln konnten. Durch eine ähnliche Untersuchung von **McMaugh** [45] für das Gebiet von Sidney (Australien) werden diese Resultate bestätigt.

5.2.5 Allgemeine Bewertung

Auch mit dem Vitapan-3D-Master-Farbringsystem steht noch nicht das gewünschte Instrument zur Verfügung, mit dem zumindest unter idealen Bedingungen zweifelsfrei eine Festlegung auf einen einzigen zutreffenden Farbwert möglich ist. Die Aussage von **Lux** „Die neue Vitapan-3D-Master-Farbskala rationalisiert die Farbbestimmung und ersetzt das subjektive Farbempfinden“ [41] kann nach dieser Untersuchung nicht bestätigt werden. Ob

dies überhaupt möglich sein wird, muss allerdings grundsätzlich bezweifelt werden. Als Fortschritt kann der Aufbau des Vitapan-3D-Master-Farbschlüssels gewertet werden. Die Bedeutung der Helligkeit als entscheidender Parameter für die Farbauswahl wurde hier konsequent umgesetzt. Bezogen auf die Auffälligkeit von Zahnersatz haben bereits **Clark** und **Hegenbarth** herausgestellt, dass bereits ein geringer Unterschied in der Helligkeit zwischen Restzahnbestand und einem einzugliedernden Zahnersatz auffällig ist und als störend empfunden wird [11, 12, 29].

Vor diesem Hintergrund und der besseren Prüfergebnisse, die im Vergleich zur Vita-classical und zur Chromaskop-Farbskala mit dem Vitapan-3D-Master erzielt wurden, stellt sich abschließend die Frage, warum sich dieses mittlerweile schon seit 1998 in den Markt eingeführte Farbbestimmungssystem, auch an Universitätszahnkliniken, noch nicht durchgesetzt und verbreitet hat. Verschiedene Studien und Erfahrungsberichte von Zahntechnikern und Zahnärzten bestätigen, dass sich durch konsequente Farbbestimmung mit dem 3D-Master kostenintensive Nachbesserungen und Wiederholungsarbeiten weitestgehend vermeiden lassen [36, 79 - 83]. Die Reklamationsraten ließen sich teilweise auf unter 1 Prozent senken. Dazu müssen jedoch Zahnarzt und zahntechnisches Labor alte Techniken zur Farbnahme verlassen und sich auf neue zeitgemäße Technologien einstellen, auch wenn diese auf den ersten Blick ungewohnt und umständlich in der Handhabung erscheinen.

Sicher verursacht die Umstellung der visuellen Zahnfarbestimmung auf das Vitapan-3D-Master-System auch Kosten für den Zahnarzt (neue Farbskalen) und das zahntechnische Labor (für entsprechende dentalkeramische Verblendmassen, Vitapan-Zähne und Kunststoffverblendmaterialien), die aber sicher durch die oben genannten Vorteile wieder wettgemacht werden.

5.3 Schlussfolgerungen

Da die Testergebnisse insgesamt deutlich unter den Erwartungen lagen, ist für die Ausbildung der beteiligten Berufsgruppen eine intensivere Auseinandersetzung mit dem Themenkomplex

Zahnfarbbestimmung zu fordern. So sollte in entsprechenden Kursen unter Anleitung eines „Farbspezialisten“ ein fundiertes Grundlagenwissen und eine Einführung in die Farbenlehre und Werkstoffkunde der verwendeten Materialien vermittelt werden. Das heißt im Besondern: der Farbnehmer sollte zumindest Grundkenntnisse über die Hauptbestandteile von dentalkeramischen Verblendmassen, deren Schichtung und die Wirkung verschiedener Effektmassen besitzen.

Ein weiterer wichtiger Punkt ist das Erlernen eines methodischen Vorgehens bei der Farbnahme: das Trainieren des gesamten Arbeitsschrittes, die genaue Dokumentation der Farbbestimmung in einheitlicher Nomenklatur und nicht zuletzt die korrekte Handhabung des verwendeten Farbringens. Das gilt insbesondere für das untersuchte Vitapan-3D-Master-Farbringenssystem, da sich die Vorgehensweise bei der Farbnahme deutlich von der der anderen handelsüblichen Farbskalen unterscheidet.

Um eine ästhetisch ansprechende keramische Versorgung herzustellen, empfiehlt sich folgendes Vorgehen:

Die Farbnahme sollte auch in der Praxis von auf diesem Gebiet besonders geschulten und erfahrenen Personen unter möglichst standardisierten Bedingungen vorgenommen werden. Besondere Berücksichtigung sollten Einflussfaktoren wie die Lichtverhältnisse, der Ort der Farbnahme und deren Umfeld sowie der Zeitpunkt (vor Behandlungsbeginn) finden. Die Informationsübermittlung der in der Zahnarztpraxis bestimmten Zahnfarbe an das zahntechnische Labor kann beispielsweise mittels eines Farbbestimmungsprotokolls erfolgen. Für die Farbnahme mit der Vitapan-3D-Master-Farbskala bietet die VITA-Zahnfabrik entsprechende Formularvordrucke an. Auf entsprechenden Dokumentationsbögen können die Patientendaten (Geschlecht, Alter, spezielle Wünsche) ebenso wie eine detaillierte Zeichnung der geplanten Restauration, die die besonderen Charakteristika, die Ausdehnung von verschiedenen Farbbereichen, die Schneidekantengestaltung oder die Farbe für keramische Effektmassen enthält, festgehalten werden. In vielen Fällen ist es zusätzlich empfehlenswert, zur Rekonstruktion einer Zahnform Situationsmodelle sowie eine Photographie der Ausgangssituation anzufertigen und dem zahntechnischen Labor als Arbeitsgrundlage

mitzuliefern. Soweit es der Praxisablauf zulässt, ist es vorteilhaft, wenn die Bestimmung der Zahnfarbe bzw. die Rohbrandanprobe in Anwesenheit des Keramiktechnikers erfolgen kann. Korrekturen des Zahnersatzes können am und mit dem Patienten besprochen werden und sind sofort umsetzbar.

Ratsam ist es in jedem Fall, die keramische Versorgung zunächst provisorisch zu befestigen, um Nachkorrekturen zu ermöglichen.

6 Zusammenfassung

Gegenstand dieser Untersuchung war die visuelle Farbauswahl mittels dreier konfektionierter Farbringsysteme (Vitapan-classical, Chromaskop und Vitapan-3D-Master). Ermittelt wurde als „Trefferquote“ die Häufigkeit der richtigen, bzw. übereinstimmenden Farbauswahl mit den verschiedenen Farbringen. Die Untersuchung sollte zeigen, mit welcher der verwendeten Farbskalen die besten Reproduktionsergebnisse erzielt werden können. In diesem Zusammenhang wurden ergänzend folgende Fragestellungen behandelt: Welche Faktoren sind bei der visuellen Zahnfarbenbestimmung entscheidend? Wie groß ist die Bedeutung des Farbsehvermögens einer Person? Spielen Beruf, Erfahrung oder das Geschlecht eine entscheidende Rolle?

Unter standardisierten Bedingungen wurden in der ersten Versuchsreihe (an Phantomköpfen) von 100 Probanden visuell Zahnfarbenbestimmungen vorgenommen. Bei den Probenkörpern handelte es sich um 15 Keramikzähne (P1-D3, P2-2M2, P3-130, P4-420, P5-A1, P6-A2, P7-5M2, P8-C3, P9-3M3, P10-4R2.5, P11-240, P12-520, P13-B1, P14-1M2, P15-330). Im klinischen Untersuchungsteil erfolgte die Abmusterung an einem natürlichen Frontzahn. Vor Untersuchungsbeginn wurde jeder Proband mit der Anwendung der drei verschiedenen Farbringsysteme vertraut gemacht.

Anonymisiert wurden persönliche Daten der Versuchsteilnehmer ermittelt. So konnten Aussagen über geschlechtsspezifische, berufliche und altersbedingte Auswirkungen auf das Untersuchungsergebnis getroffen werden. Vor Versuchsbeginn wurde die Farbtüchtigkeit der Probanden mittels der Farbtafeln nach *Velhagen* und *Broschmann* überprüft, um den Einfluss auf das Testergebnis zu untersuchen.

Es zeigte sich, dass die Farbtüchtigkeit der Probanden keinen signifikanten Einfluss auf die korrekten Farbzuordnungen hatte. Im ersten Laborteil der Arbeit spielten Faktoren, wie das Alter oder die jeweilige Berufsgruppenzugehörigkeit eine untergeordnete Rolle. Die Testergebnisse belegen für diesen Versuchsteil einen hochsignifikanten Einfluss des

Geschlechtes auf die Treffsicherheit. Die weiblichen Probanden erreichten deutlich höhere Trefferquoten als die männlichen Versuchsteilnehmer. Im zweiten klinischen Teil der Arbeit erzielte die Gruppe der Zahnärzte deutlich bessere Ergebnisse. Bezogen auf das Geschlecht stimmten die männlichen Probanden häufiger überein. Das Alter war nachrangig. Von den drei in der Untersuchung verwendeten handelsüblichen Farbringsystemen wies das Vitapan-3D-Master-System insgesamt die höchste Reproduzierbarkeit auf.

7 Literaturverzeichnis

1. Anusavice K, Barrett A, Moorehead J (1995) Color/Shade matching performance of dental students and faculty dentists. *J Dent Res* 74: 235
2. Balzer A, Kaufmann-Jinoian V (2004) Digitale Farbmessung in der Praxis. Sonderdruck Ausgabe 12, *Dental Tribune*: 1-4
3. Barna GJ, Taylor JW, King GE, Pelleu GB Jr (1981) The influence of selected light intensities on color perception within the color range of natural teeth. *J Prosthet Dent* 46: 450-453
4. Baumann MA, Schifferdecker B (1994) Farbbestimmung bei Dentalkeramiken. *Schweiz Monatsschr Zahnmed*, 104: 423-429
5. Bayer AG (1986) Farbmessung in der Textilindustrie. Leverkusen, Sonderheft 3/2 D
6. Berger-Schunn A (1991) *Praktische Farbmessung*. Muster-Schmidt Verlag, Göttingen Zürich
7. Billmeyer FW, Saltzman M Jr (1993) *Grundlagen der Farbtechnologie*. Muster-Schmidt Verlag, Göttingen Zürich
8. Brodbelt WJ, O'Brien PL, Fan JG, Frazer-Dib R YU (1981) Translucency of Human Dental Enamel. *J Dent Res* 60: 1749-1753
9. Chu SJ, Devigus A, Mielezko A (2004) *Dentale Farbenlehre*. Quintessenz Verlag, Berlin
10. Chu SJ, Tarnow DP (2001) Digital shade analysis and verification: a case report and discussion. *Pract Proceed Aesthet Dent* 13: 129-136
11. Clark EB (1931) An analysis of tooth color. *J Am Dent Assoc* 18: 2003-2103

12. Clark EB (1932) Seventy-fourth Annual Session of the American dental Association. Buffalo, NY
13. Clarke FJ (1983) Measurement of colour of human teeth in dental ceramics. Proceedings of the First international Symposium on Ceramics, Ed. Mc Lean J W, Quintessence Publishing Inc, Chicago
14. Culpepper WD (1970) A comparative study of shade matching procedures. J Prosthet Dent 24: 166-173
15. Deetjen P, Speckmann EJ (1992) Physiologie. Urban & Schwarzenberg, München Wien Baltimore
16. Devigus A (2003) Die digitale Farbmessung in der Zahnmedizin. Quintessenz Prothetik 54: 495-500
17. DIN 5033, Teil 1 (1979) Farbmessung: Grundbegriffe der Farbmetrik. Beuth Berlin
18. DIN 6164 (1980) DIN-Farbenkarte. Beuth Berlin
19. Donahue JL, Goodkind RJ, Schwabacher WB, Aeppli DP (1991) Shade color discrimination by men and women. J Prosthet Dent 65: 699-703
20. Dozic A, Kleverlaan CJ, El-Zohairy A, Feilzer AJ, Khashayar G (2007) Performance of five commercially available tooth color-measuring devices. J Prosthodont 16: 93-100
21. Faber FJ (2002) Die Bestimmung der Zahnfarbe. Dtsch Zahnärztl Z 57: 448-449
22. Faber FJ, Schlegel G (1995) Visuelle und messtechnische Zuordnung der Zahnfarbe. Dtsch Zahnärztl Z 50: 661-664
23. Faber FJ, Schlegel G (1999) Einfluss von Farbtüchtigkeit, Geschlecht und Beruf auf die Zahnfarbauswahl. Dtsch Zahnärztl Z 54: 281-283

24. Goethe JW (1953) Farbenlehre. Vollständige Ausgabe der theoretischen Schriften mit einer Einleitung von Wohlbold H, Kohlhammer W, Stuttgart
25. Golenhofen K (2000) Physiologie heute. Urban & Fischer Verlag, München: 467-480
26. Goodkind RJ, Keenan KM, Schwabacher WB (1985) A comparison of Chromascan and spectrophotometric color measurements of 100 natural teeth. J Prosthet Dent 53: 105-109
27. Goodkind RJ, Loupe MJ (1992) Teaching of colour in predoctoral dental education in 1988. J Prosthet Dent 67: 713-717
28. Hassan AK (2000) Effekt of age on color of dentition of Baghdad patients. East Mediterr Health J, Mar-May: 511-513
29. Hegenbarth EA (1992) Monotonie oder Vielfalt – die Problematik konventioneller Farbsysteme in der Dentalkeramik. Quintessenz Zahntech 18: 1303-1323
30. Hellwig E, Klimek J, Attin T (1995) Einführung in die Zahnerhaltung. Urban & Schwarzenberg, München Wien Baltimore
31. Hunter RS, Harold RD (1987) The Measurement of Appearance. John Wiley & Sons, New York
32. Ivoclar AG (1986) Farbe sehen und Farbe bestimmen. Verlag Spektrum der Wissenschaft, Heidelberg
33. Ivoclar/Vivadent (2002) Chromascop – die Harmonie der Farben. Ivoclar AG, Schaan / Liechtenstein
34. Jakstat HA (2005) Den Blick für die „Dritten“ schärfen. Dental Magazin 4: 8
35. Jakstat HA, Heinz M (2005) Damit die „Dritten“ nicht wie neu aussehen. Pressemitteilung der Universität Leipzig

36. Junker–Malcharek A, Kroszewsky K (2002) Farbbestimmung mit der Vitapan-classical- und Vitapan-3D-Master-Farbskala im Vergleich. *Deutsch Zahnärztl Z* 57: 562-565
37. Kappert HF (1989) Metallkeramik in der Krise? Fortschritte der zahnärztlichen Prothetik und Werkstoffkunde, Voß R u. Meiners H (Hrsg), Hanser, München
38. Knispel G (1991) Factors affecting the process of color matching restorative materials to natural teeth. *Quintessence Int* 22: 525-531
39. Koch JH (2002) Digitale Farbanalyse. *Dentalmagazin* 2: 60-68
40. Kohlmeyer B, Scheller H (2002) Zahnfarbenbestimmung mit dem PC-gestützten Messgerät „Digital Shade Guide“. *Deutsch Zahnärztl Z* 57: 172-175
41. Lux O, Richelme J, Vermeulen P (2000) Die drei Dimensionen der Farbe. *Dental Lab* 48: 1609-1612
42. Marré M, Nemetz U, Neubauer O (1974) Color vision and the „pill“. Color vision deficiencies II. Verriest G (Hrsg), Karger, Basel
43. Marxkors R (1993) Lehrbuch der zahnärztlichen Prothetik. Hanser, München Wien: 64-65
44. Marxkors R, Meiners H (1993) Taschenbuch der zahnärztlichen Werkstoffkunde. Hanser, München Wien: 157-179
45. McMaugh DR (1977) A comparative analysis of the color matching ability of dentists, dental students and ceramic technicians. *Aust Dent J* 22: 165-167
46. Minolta (11/1996) Exakte Farbkommunikation. Minolta Camera Handelsgesellschaft, Ahrensburg
47. Moser JB, Wozniak WT, Naleway CA, Ayer WA (1985) Color vision in dentistry: a survey. *J Am Dent Assoc* 110: 509-510

48. Munsell AH (1929) Book of Colors. A revision and extension of the atlas of the Munsell color system, Munsell Color company, Baltimore
49. O'Brien WJ, Groh CL, Boenke KM (1990) A new, small-color-difference Equation for Dental Shades. J Dent Res 69: 1762-1764
50. O'Brien WJ, Johnston WM, Fanian F (1985) Double-layer color effects in porcelain systems. J Dent Res 64: 940-943
51. Pau H (1992) Lehrbuch der Augenheilkunde. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart
52. Preston JD (1985) Current status of shade selection and color matching. Quintessence Int 16, 47
53. Reis M (1993) Kommunikation mit Farbe. Dentalmagazin 1: 50-57
54. Richter M (1981) Einführung in die Farbmeterik. de Gruyter, Berlin
55. Rieth A (2003) Herstellerinfo, Schorndorf
56. Riethe P (1988) Konservierende Zahnheilkunde. In: Schwenger N (Hrsg), Thieme, Stuttgart, Bd 4: 99-112
57. Rinke S, Hüls A, Ketteler MJ (1996) Colorimetric Analysis as a means of quality control for dental ceramic materials. J Prosth Rest Dent 4: 105-110
58. Ross F (2002) Untersuchung zur Reproduzierbarkeit der Zahnfarbbestimmung mit einem neuen Zahnfarbringssystem. Med Diss Hannover
59. Schiebler TH, Schmidt W (1987) Anatomie. Springer Verlag, Wien New York: 430-431
60. Schifferdecker B (1998) Objektive Zahnfarbenbestimmung mit dem Spektralfarbgerät Castor. Med Diss Mainz

61. Schlegel G (1999) Einfluss von visueller Farbauswahl und Reproduzierbarkeit der Farbbestimmung mit Nachstellung der Zahnfarbe. Med Diss Köln
62. Seghi RR (1990) Effects of instrument-measuring geometry on colorimetric assessments of dental porcelains. J Dent Res 69: 1180-1183
63. Seghi RR, Hewlett ER, Kim J (1989) Visual and instrumental colorimetric assessments of small color differences on translucent dental porcelains. J Dent Res 68: 1760-1764
64. Seghi RR, Johnston WM, O'Brien WJ (1989) Performance assessment of colorimetric devices on dental porcelains. J Dent Res 68: 1755-1759
65. Sorensen JA, Torres TJ (1987) Improved color matching of metal ceramic restorations. Part I: A systematic method of shade determination. J Prosthet Dent 58: 133-139
66. Sproull RC (1973) Color matching in dentistry. Part I. The three-dimensional nature of color. J Prosthet Dent 29: 416-417
67. Sproull RC (1973) Color matching in dentistry. Part II. Practical applications of the organization of color. J Prosthet Dent 29: 556-557
68. Sproull RC (1974) Color matching in dentistry. Part III. Color control. J Prosthet Dent 31: 146-154
69. Strub JR (1994) Curriculum Prothetik. Quintessenz Verlags-GmbH, Berlin
70. Swepston JH , Miller AW (1985) Esthetic matching. J Prosthet Dent 54: 623-625
71. Szep S, Gerhardt T, Heidemann D (1995) Objektive Farbbestimmung von „Schmelz- und Dentinkompositen“ im Vergleich zur Vita-Farbpalette. Dtsch Zahnärztl Z 50: 217-223
72. Touyz LZG, Raviv E, Harel-Raviv M (1999) Cosmetic or esthetic dentistry. Quintessence Int 30: 227

73. Turner CR, Anthony LP (1928) The American Textbook of Prosthetic Dentistry. 5. Aufl. Lea & Febiger, Philadelphia
74. van der Burght TP, ten Bosch JJ, Borsboom PC, Kortsmit WJ (1990) A comparison of new and conventional methods for quantification of tooth color. J Prosthet Dent 63: 155-162
75. Velhagen K, Broschmann D (2000) Tafeln zur Prüfung des Farbensinns. 32. unveränd. Auflage, Thieme, Stuttgart New York
76. Vita (1998) LaborInfo 01/98. Vita-Zahnfabrik, Bad Säckingen: 1-20
77. Vita (1998) Produktinformation. Vita-Zahnfabrik, Bad Säckingen
78. Vita (1999) LaborInfo 02/99. Vita-Zahnfabrik, Bad Säckingen: 1-4
79. Vita (2002) LaborInfo 01/02. Vita-Zahnfabrik, Bad Säckingen: 1-7
80. Vita (2003) IDS-Nachlese. ZMK (19): 258-259
81. Vita Zahnfabrik Herstellerinformationen (2002) Die Helligkeit wird zum entscheidenden Kriterium. DZW-ZahnTechnik: 8-9, 36-37
82. Vita Zahnfabrik Herstellerinformationen (2003) Dentalzeitung 2. Oemus Media AG, Köln: 88
83. Vollmann M (1998) Vitapan 3D-Master – Theorie und Praxis. Sonderdruck aus Dental-Labor, XLVI, Heft 8: 1247-1254
84. Völz HG (1990) Industrielle Farbprüfung – Grundlagen und Methoden. 1. Auflage, VCH, Weinheim NY Basel Cambridge
85. Wee AG, Monahan P, Johnston WM (2002) Variation in color between intended matched shade of dental porcelain. J Prosthet Dent 87: 657-666

86. Wright WD (1964) The Measurement of colour. 3. Auflage, Hilger & Watts LTD,
London

8 Anhang

Fragebogen

Probandengruppe: Studienanfänger / Studenten
 Zahnärzte / Assistenten
 Helferinnen
 Zahntechniker

Berufsjahre: ____ Jahre

Alter: ____ Jahre

Geschlecht männlich weiblich

Farbtüchtigkeit: Farbtüchtig
 Farbenschwach
 Farbenuntüchtig

Verwendete Farbskala: 3 – D – Master
 Vita – Lumin
 Chromaskop

Zeitbedarf: Min. _____ Sek. _____

Lichtquelle: Kunstlicht (D 65) Tageslicht

Probenhintergrund:

Proben:

Farbkommunikationsschema

Patient/in: _____
Zahnarztpraxis: _____
Farbnehmer: _____
Datum: _____

weitere Unterlagen:
 Foto
 Situationsmodell
 keine

Schichtungsschema:
 jugendlich
 normal
 abradiert

Oberfläche:
 glänzend
 matt

Schneide:
 weißlich
 bläulich
 gräulich

Farbhelligkeitsstufe (Value)
1 2 3 4 5
hell dunkel

Farbintensität (Chroma)
1
1.5
2
2.5
3
blass
satt

L M R
gelblich < Farbton > rötlich
(Hue)

Zahnfarbe: _____ Frontzähne: _____ Eckzähne: _____ Seitenzähne: _____

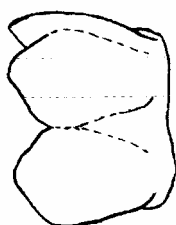
914D - 0504 (1000 BU) S. © VITA Zahnfabrik H. Rauter GmbH & Co. KG

Bemerkung: _____

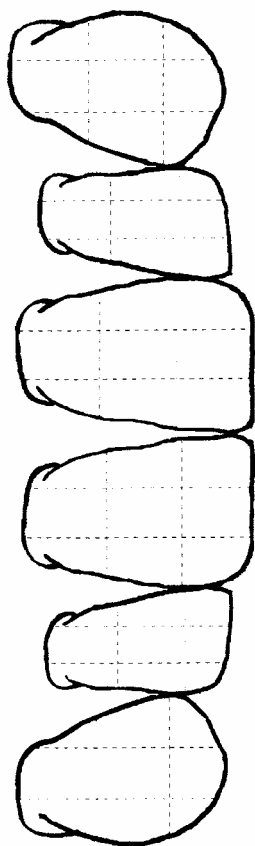
- Rücksprache
- siehe Rückseite



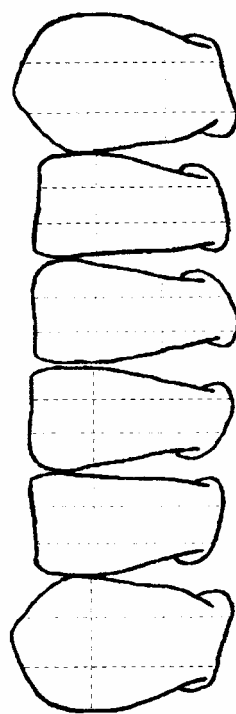
VITA



17 16 15 14 | 24 25 26 27
47 46 45 44 | 34 35 36 37

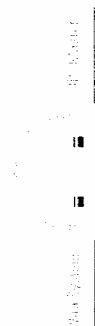


13 12 11 | 21 22 23
43 42 41 | 31 32 33



© VITA Zahnfabrik H. Raurer GmbH & Co. KG

Frontgestaltung <input type="checkbox"/> individuell <input type="checkbox"/> regelmäßig <input type="checkbox"/> wie Situationsmodell	Mamelons <input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein	Schmelzrisse <input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein	Sekundärdentin <input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein	eingefärbte Kauflächen/Fissuren <input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein
--	---	---	---	--



VITA

Danksagung

Herrn Univ.-Prof. Dr. K. H. R. Ott danke ich für die Überlassung des Themas dieser Arbeit, deren Förderung und den stetigen Ansporn.

Herrn PD Dr. T. Dammaschke danke ich für die Betreuung zur Realisation meiner Arbeit.

Ich danke ferner der „Firma Vita Zahnfabrik“ und hier insbesondere Herrn Dr. Markus Vollmann, der es ermöglichte, die Probenkörper für die Studie herzustellen und zu vermessen.

Ganz besonderer Dank gilt Frau Sauerland und Herrn Goda aus dem Institut für Biomathematik der Universität Münster, die mir bei der statistischen Auswertung der Untersuchungsergebnisse geholfen haben.

Weiterhin gilt mein Dank allen Kollegen und Probanden, die durch ihre Teilnahme an den Versuchen diese Untersuchung ermöglichten.

Zuletzt möchte ich mich besonders bei meiner Familie bedanken, die mich stets unterstützt und an mich geglaubt hat. Hier gilt mein ganz besonderer Dank meinem Mann Oliver, für seine Unterstützung und für seine unendliche Geduld. Ohne sie wäre der erfolgreiche Abschluss meiner Arbeit nicht möglich gewesen.

Lebenslauf

08. Mai 1964	geboren in Kamen
Eltern:	Wilfried Beermann, Pensionär Roswitha Beermann, geborene Lorenz, Hausfrau
1970 bis 1972	Besuch der Martin-Luther Grundschule in Greven
1973 bis 1974	Besuch der Paul-Gerhardt Grundschule in Greven
1974 bis 1980	Besuch der Städt. Realschule in Greven
1980 bis 1983	Besuch des Gymnasiums Augustinianum in Greven Abschluss: allgemeine Hochschulreife
1983 bis 1986	Ausbildung zur Zahnarzthelferin in der Praxis R. Austermann in Münster
1986 bis 1988	Beschäftigung als Zahnarzthelferin in der Praxis R. Austermann in Münster
1988 bis 1989	Aufstiegsfortbildung zur ZMF an der ZÄK Westfalen-Lippe
1989 bis 1994	Beschäftigung als ZMF in der Praxis Dr. A. Wöhner, in Münster
1994 bis 1995	Beschäftigung als ZMF in der Praxis Dres. Hesse und Köster in Greven
SS 1995	Zulassung zum Studium der Zahnheilkunde an der Westfälischen Wilhelms-Universität in Münster
September 1996	naturwissenschaftliche Vorprüfung
September 1997	zahnärztliche Vorprüfung
Juli 2000	zahnärztliche Prüfung und Approbation als Zahnärztin
2000 bis 2003	Wissenschaftliche Mitarbeiterin in der Poliklinik für Zahnerhaltung der Westf.-Wilhelms-Universität zu Münster bei Prof. Dr. K. H. R. Ott
Juni 2002	Heirat mit Dr. Oliver Mruk aus Gütersloh
September 2003	Geburt des Sohnes Matti Benjamin Mruk
Seit 2004	Honorarzahnärztin für den Jugendzahnärztlichen Dienst und den Arbeitskreis Zahngesundheit des Kreises Gütersloh
Juli 2005	Geburt des zweiten Sohnes Janne Michel Mruk
Seit Januar 2007	Angestellte Zahnärztin in der Praxis Dr. Borcharding und Beckschäfer in Gütersloh