

Untersuchungen zur Reproduzierbarkeit der Farbbestimmung  
an natürlichen Zähnen mittels eines instrumentellen  
Farbbestimmungsgerätes *DSG 4*

INAUGURAL-DISSERTATION

zur Erlangung des Grades eines Doktors der Zahnheilkunde  
des Fachbereichs Medizin  
der Justus-Liebig-Universität Gießen

vorgelegt von Martin Kopp  
aus Weilburg

Gießen, 2004

Aus der Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik  
des Zentrums für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde  
der Justus-Liebig-Universität Gießen  
Direktor: Prof. Dr. med. dent. P. Ferger

Gutachter: Prof. Dr. Ferger

Gutachter: PD Dr. Dr. Rödelsperger

Tag der Disputation: 09.06.2004

Meinen Eltern in Liebe und Dankbarkeit gewidmet

# Inhaltsverzeichnis

<b>1. Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2. Physiologische Grundlagen</b>	<b>3</b>
2.1. Zahnfarbe	6
<b>3. Literaturübersicht</b>	<b>8</b>
3.1. Farbbestimmung in der Zahnmedizin	8
3.2. Farbringe	9
3.3. Lichteinflüsse	13
3.4. Einflüsse des Farbbestimmenden	14
3.5. Farbauswahl	20
3.6. Instrumentelle Farbbestimmung	20
3.7. Zusammenfassung der Literatur	29
<b>4. Ziel der Arbeit</b>	<b>31</b>
<b>5. Material und Methode</b>	<b>32</b>
<b>6. Statistische Analyse</b>	<b>38</b>
6.1. Fallzahlplanung	38
6.2. Statistische Methoden	39

<b>7. Ergebnisse</b>	<b>40</b>
7.1. Versuchsserie 1 - Farbmessung mit <i>DSG 4</i> an den Zähnen 21 zweier Probanden unter verschiedenen Lichteinflüssen	40
7.2. Versuchsserie 2 - Farbmessung mit <i>DSG 4</i> an den Zähnen 21 zweier Probanden unter verschiedenen Lichteinflüssen und unter Zuhilfenahme einer „Bisschiene“	49
7.3. Versuchsserie 3 - Bestimmung der Zahnfarbe an den Zähnen 21 zweier Probanden mittels Farbring und <i>DSG 4</i> durch 50 Untersucher	55
7.3.1 Versuchsserie 3a) -Bestimmung der Zahnfarbe an den Zähnen 21 zweier Probanden mittels Farbring	56
7.3.2 Versuchsserie 3b) -Bestimmung der Zahnfarbe an den Zähnen 21 zweier Probanden mittels <i>DSG 4</i>	68
<b>8. Diskussion</b>	<b>83</b>
<b>9. Zusammenfassung</b>	<b>91</b>
<b>10. Abstract</b>	<b>92</b>
<b>11. Literatur</b>	<b>93</b>
<b>Anhang</b>	
<b>Danksagung</b>	
<b>Lebenslauf</b>	

## 1. Einleitung

Der Zahnfarbbestimmung kommt im Rahmen einer zahnärztlich-restaurativen Behandlung eine entscheidende Bedeutung zu. Zahlreiche Untersuchungen weisen nachdrücklich auf diese bedeutsame Rolle der Farbbestimmung hin. Sie stellt insofern ein Risiko dar, als dass eine gesamte restaurative Arbeit nicht einsetzbar sein kann, wenn sie den ästhetischen Ansprüchen des Patienten nicht entspricht.

Um eine prothetische Versorgung in Form von Verblendkronen und -brücken herzustellen, ist die Ästhetik und damit auch die Farbauswahl ein wichtiger Parameter. Um dieses Ziel zu erreichen sind insbesondere die Qualität und Reproduzierbarkeit der verwandten Farbringe, bzw. des Farbbestimmungsgerätes von entscheidender Bedeutung. Ebenso bedeutsam sind sowohl günstige Lichtverhältnisse als auch eine adäquate und reizarme Umgebung. Auch die Fähigkeit des Betrachters Farben richtig zuzuordnen, ist unabdingbar.

Sind die angefertigten Kronen und Brücken in der Farbgestaltung nicht homogen mit den Nachbarzähnen, mit den restlichen Zähnen oder mit eventuell bereits vorhandenem Zahnersatz, so wird der Patient mit dem ästhetischen Eindruck seines neuen Ersatzes unzufrieden sein und eine endgültige Eingliederung ablehnen.

Aus den bereits erwähnten Gründen sind Zahnarzt und Zahntechniker bemüht, eine exakte Zahnfarbbestimmung durchzuführen und diese in den labortechnischen Ausführungen umzusetzen.

In der täglichen Praxis wird die Farbbestimmung mittels Farbringen, welche von verschiedenen Herstellern angeboten werden, durchgeführt. Hierbei spielen -wie zahlreiche Arbeiten belegen- Licht- und Umgebungseinflüsse, sowie der betreffende Farbnehmer, eine entscheidende Rolle. Ebenso wurde häufig darauf hingewiesen, dass ein solcher Farbring die Auswahl einschränkt, da nur ein begrenztes Spektrum an Farben vorliegt.

Seit einiger Zeit bemühen sich mehrere Hersteller diese Fehlerquellen zu beseitigen, indem sie Geräte entwickeln, welche optisch die Zahnfarbe erkennen sollen. Hierbei trifft Licht einer genormten Lichtquelle auf den zu bestimmenden Zahn. Das reflektierte Licht wird computerunterstützt dahingehend umgerechnet, dass eine Zahnfarbe angegeben werden kann.

Als Vorteile dieser Art von Geräten werden die exakte Farbbestimmung auch unter widrigen Lichtverhältnissen, sowie die Angabe von Mischverhältnissen der

vorhandenen Grundfarben aufgeführt. Ferner soll der Zahntechniker eine Erleichterung in seiner Tätigkeit erfahren, als dass er exaktere Angaben zur Zahnfarbe an unterschiedlichen Messstellen erhält und auf eventuell vorhandene Farbnuancen aufmerksam gemacht wird. Der Farbverlauf eines Zahnes soll auf diese Weise besser nachvollziehbar sein können. Dadurch soll es möglich sein, Restaurationen herzustellen, die dem ästhetischen Anspruch des Originals möglichst nahe kommen.

Die vorliegende Studie soll klären, inwieweit es sinnvoll erscheint, im klinischen Alltag eine instrumentelle Zahnfarbbestimmung -insbesondere mittels *Digital Shade Guide 4* der Firma *Rieth*<sup>1</sup>- vorzunehmen, bzw. einen Vergleich zur herkömmlichen Methode mittels Farbringen darstellen. Das besondere Augenmerk dieser Studie soll auf die Reproduzierbarkeit des *DSG 4* gerichtet sein. So sollen Rückschlüsse vor allem auf die Reproduzierbarkeit von beständigen und zuverlässigen Werten bei der Farbbestimmung durch *DSG 4* gezogen werden.

Parallel zu dieser Studie wurde in der prothetischen Abteilung der Zahnklinik der Universität Gießen eine weitere Studie durchgeführt, die sich mit der klinischen Anwendbarkeit des *DSG 4* auseinandersetzt. In letzterer Studie wurde untersucht, inwieweit die instrumentelle Farbbestimmung mittels *DSG 4* zu farblich passendem Zahnersatz im klinischen Alltag führt.

---

<sup>1</sup> Im folgenden *DSG 4* genannt.

## 2. Physiologische Grundlagen

Zahnfarben stehen im allgemeinen in keinem einfachen Zusammenhang mit einer physikalischen Größe, da Farben Sinneseindrücke sind. Diese werden individuell unterschiedlich wahrgenommen und sind von einer Vielzahl von Einflüssen abhängig. Voraussetzung für das Entstehen von Farbeindrücken und damit der Zahnfarbe, ist eine Wechselwirkung zwischen Licht, Objekt und Betrachter.

Das Wort *Farbe* wird im alltäglichen Gebrauch immer wieder unterschiedlich benutzt. Es wird beispielsweise für Anstrichstoffe (z.B. Lacke, Malfarben) verwandt. Jedoch beschreibt der Terminus *Farbe* auch das Erscheinungsbild von Gegenständen, Flammen, glühenden Metallen, etc. [Kappert et al. 1992].

Im engeren Sinne ist die Farbe das Merkmal einer subjektiven, vom Auge vermittelten Empfindung, die unterschiedliche spektrale Zusammensetzungen zu identifizieren ermöglicht [ibid.].

Der auslösende Farbreiz besteht aus elektromagnetischer Strahlung, die im Auge eine neuronale Erregung auslöst. Für den Menschen liegt der sichtbare Spektralbereich elektromagnetischer Strahlung etwa bei Wellenlängen zwischen 380 nm (blau) und 750 nm (rot) [Hohmann/Hielscher 1987, Obregon et al. 1979, Reis 1995].

Die wichtigste Lichtquelle des Menschen ist die Sonne [Schmidt/Thews 1997]. Das Sonnenlicht kann mittels eines Prismas in seine spektralen Farben zerlegt werden. Der langwellige Teil des Lichtes erscheint uns rot, der kurzwellige blau-violett. Licht einer Wellenlänge wird als *monochromatisch* bezeichnet [ibid.].

Gegenstände absorbieren bzw. reflektieren Licht unterschiedlicher Wellenlängen mit unterschiedlichen Intensitäten [Schmidt/Thews 1997]. Ist die spektrale Reflektanz auf alle Wellenlängen des sichtbaren Bereiches verteilt, so erscheinen die Objekte dem Betrachter *polychromatisch* [ibid.]. Der Unterschied der mittleren Leuchtdichte zweier benachbarter Objekte bestimmt deren physikalischen Kontrast (C):  $C = (I_h - I_d) / (I_h + I_d)$ .  $I_h$  stellt die Leuchtdichte des helleren Objektes dar,  $I_d$  bezeichnet die des dunkleren [ibid.]. Die Wahrnehmung von Farben gründet sich sowohl auf unterschiedliche Hell- und Dunkelkontraste als auch auf Farbkontraste [ibid.]. Normalsichtige können etwa 300 Farbtöne unterscheiden. In Kombination dieser Farbtöne mit unterschiedlichen Farbsättigungen ergibt dies etwa 600.000 differenzierbare Farbtöne [Henning et al. 1982]. Durch Farbkontraste ist der Mensch in der Lage Objekte, deren mittlerer physikalischer Kontrast null ist, voneinander zu unterscheiden. Grüntöne sind dabei



besser unterscheidbar als Gelb- und Rottöne, die sich allerdings wiederum als Kontrastfarben gut von Grüntönen abheben [Schmidt/Thews 1997].

Das Sehen ist in einem relativ großen Energiebereich von etwa  $1:10^{11}$  möglich [Schmidt/Thews 1997]. Bei konstanter Umweltbeleuchtung ist jedoch nur eine Anpassung im Bereich von etwa 1:40 erforderlich. In dieser Größenordnung variiert die mittlere Reflektanz (auch *Remissionsgrad* genannt) der Oberflächen der meisten Objekte mit Ausnahme von spiegelnden Flächen. In der natürlichen Umwelt des Menschen variiert die mittlere Leuchtdichte zwischen etwa  $10^{-6}$  cd x m<sup>-2</sup> (cd = Candela) bei bewölktem Nachthimmel und  $10^{-3}$  cd x m<sup>-2</sup> bei klarem Sternenhimmel bis zu  $10^7$  cd x m<sup>-2</sup> bei Sonnenschein und hell reflektierenden Flächen [ibid.].

Das visuelle System kann sich durch Adaptationsprozesse unterschiedlichen natürlichen oder auch künstlichen Umweltleuchtdichten anpassen. Die Hell- und Dunkelwerte, sowie die Farben wahrgenommener Gegenstände ändern sich auch bei hundertfacher Veränderung der Beleuchtungsstärke nur geringfügig. Es besteht daher eine relative Unabhängigkeit des Kontrast- und Farbsehens von der mittleren Beleuchtungsstärke und der spektralen Zusammensetzung des natürlichen Lichtes. Aufgrund dessen und aufgrund neuronaler Mechanismen wird das Aussehen von Objekten mehrheitlich durch die spektrale Reflektanz derer Oberflächen (i.e. spektraler Remissionsgrad) und nicht durch die von den Objekten reflektierte Lichtquantenzahl bestimmt [Hohmann/Hielscher 1987].

Die elektromagnetische Strahlung im Bereich zwischen den Wellenlängen 400nm (blau) und 750nm (rot) wird beim Vorgang des Sehens bzw. Farbsehens durch die Pupille auf die lichtempfindliche Netzhaut projiziert [Moser et al. 1985]. Dadurch wird dort eine Empfindung ausgelöst.

Der Farbeindruck ist davon abhängig, in welchem Wellenlängenbereich die einfallende Strahlung eine erhöhte Intensität aufweist [Kappert et al. 1992].

Im Gegensatz zum Prisma besitzt das Auge nicht die Fähigkeit das einfallende Licht in seine einzelnen Spektralbereiche zu zerlegen. Nimmt das Auge alle Wellenlängenbereiche des sichtbaren Lichtes mit gleicher Intensität auf, so entsteht der Farbeindruck „weiss“ [ibid.]. Dieser kann je nach Intensität auch als Grauton interpretiert werden. Die verschiedenen Grautöne werden wiederum in der Farbmeterik als *unbunte Farben* beschrieben. Wird ein Teilbereich des sichtbaren Lichtes, bzw. deren Wellenlängen mit entsprechend höherer Intensität angeboten, so entsteht der Eindruck „*bunt*“ [ibid.].

Die Adaption an unterschiedliche Beleuchtungsbedingungen der Umgebung wird durch zwei retinale Rezeptorentypen mit unterschiedlicher Absolutschwelle erleichtert. Zum einen sind es die Stäbchen der Netzhaut mit denen bei Sternenlicht gesehen wird (*skotopisches Sehen*), zum anderen sind es die Zapfen mit denen man bei Tageslicht sieht (*photopisches Sehen*) [Schmidt/Thews 1997]. Während des skotopischen Sehens nimmt man verschiedene Helligkeitsstufen wahr, ist jedoch nicht in der Lage einen Farbunterschied zu erkennen. Im Gegensatz dazu ermöglicht der Sehapparat des Menschen beim photopischen Sehen Objekte in Farb-, Hell- und Dunkelwerte zu unterscheiden [Hohmann/Hielscher 1987]. Die spektrale Empfindlichkeit des menschlichen Auges besitzt für das skotopische Sehen einen Höhepunkt bei etwa 500 nm und beim photopischen Sehen einen bei ca. 555 nm. Der Übergang vom photopischen zum skotopischen Sehen, beispielsweise bei einsetzender Dämmerung, wird *mesopisches Sehen* genannt [Schmidt/Thews 1997]. Die Rezeptorenschicht des menschlichen Auges besteht aus etwa 120 Millionen Stäbchen [Reis 1995] und 6 Millionen Zapfen [Schmidt/Thews 1997]. Die Moleküle der Sehfärbstoffe sind regelmäßig in die Lipiddoppelschicht der Außenglieder eingelagert. Rhodopsin ist der Sehfärbstoff der Stäbchen [ibid.].

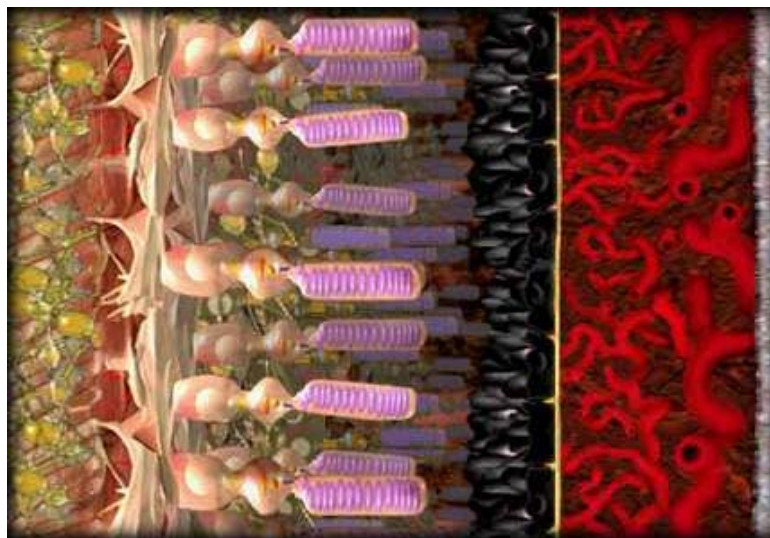


Abb.2.1 Schematischer Aufbau der Netzhaut

Der Transduktionsprozess des Sehens wird durch Lichtquantenabsorption in den Sehfärbstoffen der Photorezeptoren eingeleitet. Dadurch kommt es zu einem mehrstufigen Zerfall des Sehfärbstoffes. Es entsteht Metarhodopsin II, welches in eine intrazelluläre Enzymkaskade eingreift und über ein G-Protein der Photorezeptormembran die cGMP-Konzentration reduziert. So wird durch eine

Belichtung eine Hyperpolarisation des Membranpotentials ausgelöst. Bei Verdunkelung dagegen wird eine Depolarisation eingeleitet. Dieser Reaktionstyp unterscheidet sich in seinem Verhalten dadurch von Rezeptoren anderer Sinnessysteme [ibid.].

## 2.1. Zahnfarbe

Der primäre Farbeindruck eines natürlichen Zahnes entsteht durch Brechung und Reflektion des einfallenden Lichtes [Heinenberg 1990, Hohmann/Hielscher 1987] an den per se farblosen Kristallen des Schmelzes und Dentins [Henning et al. 1982, Hohmann/Hielscher 1987, Seghi et al. 1986]. Ein Teil des auftreffenden Lichtes wird an der Oberfläche des Zahnes reflektiert und dringt teilweise in den Zahn ein [Heinenberg 1990, Hohmann/Hielscher 1987]. Das in den Zahn eindringende Licht wird an den Prismen des Dentins und den Kristallen des Schmelzes gestreut [Henning et al. 1982, Musil et al. 1983]. Größe und Struktur der Kristalle bestimmen die Farbentstehung, so dass der feinkristalline Schmelz einen Grauton und das prismatische Dentin einen Gelbton erzeugt. Die Zahnfarbe wird hauptsächlich vom Dentin beeinflusst und von der Transluzenz und der Dicke des Schmelzes lediglich modifiziert [Muia 1982, Seghi et al. 1986].

Ein natürlicher Zahn zeigt von der Gingiva bis zur Schneidekante einen unterschiedlichen Farbverlauf [O'Brien 1997]. Mit zunehmendem Alter verändert sich auch die Zahnfarbe [Reis 1995, Solheim 1988]. Durch die im Zahn stattfindenden Alterungsprozesse wirken die Zähne transparenter und glasiger, wodurch die im Zahn enthaltene Farbe mehr zur Geltung kommt [ibid.].

O'Brien untersuchte diesen Farbverlauf in einer 1997 veröffentlichten Studie an 95 extrahierten und gereinigten Frontzähnen unter Zuhilfenahme der Spektralanalyse. Er untersuchte gezielt drei Regionen des Zahnes: das gingivale, das mittlere und das inzisale Drittel. Ein modifiziertes Spektrophotometer (*Hardy General Electric Co.*, USA) war in der Lage einen Bereich von 2 x 2 mm am Zahn zu messen.

Die statistische Auswertung dieser Studie zeigte, dass der Farbton in der gingivalen Region an 52 Zähnen gelblicher und an 38 Zähnen rötlicher als an den beiden anderen Messpunkten war. An fünf Zähnen war der Farbton unverändert. In der inzisalen Region hatten 32 Zähne größere und 53 Zähne geringere Helligkeitswerte. Zehn Zähne waren unverändert in der Helligkeitsverteilung. Die Farbintensität war in

der inzisalen Region von sieben Zähnen intensiver, weniger intensiv bei 84 Zähnen. Bei vier Zähnen blieb die Farbintensität unverändert.

### 3. Literaturübersicht

Die Farbbestimmung ist ein wichtiger Parameter in der zahnmedizinischen Prothetik im Rahmen der Herstellung von Zahnersatz [Baumann et al. 1994, Faber et al. 1999, Heinenberg 1990, Schriever et al. 1993, Szep et al. 1995]. Motiviert durch die heutige mediale Welt fordern viele Patienten einen ästhetisch hochzufriedenstellenden Zahnersatz [Culpepper 1970, Henning et al. 1982, Sproull 1973b und 1974]. Ein Zahnersatz, der den ästhetischen Ansprüchen des Patienten nicht genügt, wird abgelehnt [Setz et al. 1992].

#### 3.1. Farbbestimmung in der Zahnmedizin

Die Farbbestimmung an einem natürlichen Patientenzahn oder einer fertigen zahnärztlichen Restauration durchzuführen ist ein komplexes, von vielen Faktoren abhängendes Problem [Bangtson et al. 1982, Barna et al. 1981, Culpepper 1970, Henning et al. 1982, Goodkind et al. 1985 und 1987, Jorgenson et al. 1979, O'Brien et al. 1983, Pizzamiglio 1991, Schriever et al. 1993, Seghi et al. 1986, Setz et al. 1992, Sproull 1973a]. Laut Sproull (1974) und Obregon et al. (1981) hängt die zahnärztliche Fähigkeit eine natürlich aussehende Restauration herzustellen von folgenden Faktoren ab:

- (1) den Eigenschaften der Lichtquelle,
- (2) der Veränderung des Lichtreflexes durch eine künstliche Krone und
- (3) der Interpretation der beiden ersten Punkte seitens des Betrachters, bzw. des Behandelnden.

Um die Farbbestimmung optimal zu gestalten, sollte der Zahnarzt um diese Problematik wissen und entscheidende Fehlerquellen ausschalten, bzw. minimieren können [Pizzamiglio 1991, Shotwell 1986].

Seghi et al. (1986) geben an, dass man einen natürlichen Zahn nicht exakt reproduzieren könne, da die Lichtreflektion und -absorption durch die künstliche Krone nicht naturgetreu wiedergegeben werden könne. Die schwierigste Aufgabe in der Herstellung prothetischer Versorgungen sei es Transluzenz und Zahnfarbe zu reproduzieren. Die Farbbestimmung soll am Anfang der zahnärztlichen Behandlung stattfinden, da sich durch die Dehydratation der Zähne während der Behandlung Farbhelligkeit und Farbsättigung ändern [Pizzamiglio 1991, Reis 1995]. Um ihre normale Zahnfarbe wiederzuerlangen benötigen die Zähne einen Zeitraum von über 24 Stunden [Pizzamiglio 1991].

Zur Bestimmung der Zahnfarbe soll vor allem das Zahnzentrum herangezogen werden, da es die Zahnfarbe des farblich nicht einheitlich strukturierten natürlichen Zahnes am besten repräsentiert [Bos 1986, Schwabacher et al. 1990].

Die zu bestimmenden Zähne sollten gereinigt und frei von Belägen sein [Hegenbarth 1992]. Bei der Farbbestimmung sollten die Zähne nicht länger als 10 bis 20 Sekunden betrachtet werden [ibid.].

Häufig ist der Zahnarzt von der fertigen einzusetzenden restaurativen Arbeit enttäuscht, da die Farbe nicht seinen Erwartungen entspricht, wie von Barna et al. 1981, Schriever et al. 1993, Sproull 1973a, 1973b und 1974, sowie Szep et al. 1995 beschrieben. Es soll ebenso Beachtung finden, dass auch das seelische Wohlbefinden des Patienten von einer ästhetisch gelungenen Restauration abhängen kann [Hegenbarth 1992].

In der Literatur wird darauf hingewiesen, dass neben einer entsprechenden Beleuchtung und adäquaten Farbringen auch die Umfeldfarben Einfluss auf die Farbnahme haben. So würden sich sowohl die Farbe der Lippen, bzw. des Lippenstiftes, als auch Farbe der Gingiva und der Kleidung auf die Farbbestimmung auswirken [Hegenbarth 1992, Das Internationale Zahntechnikermagazin 2001].

### **3.2. Farbringe**

Um ästhetisch befriedigende Ergebnisse zu erlangen wird in der alltäglichen Praxis die Farbbestimmung meist mittels sogenannter Farbringe vorgenommen [Burgt, van der 1985 und 1990, Faber et al. 1995, Henning et al. 1982, Musil et al. 1983, O'Brien 1989, Okubo et al. 1998, Setz et al. 1992]. Diese Farbringe bieten lediglich ein begrenztes Spektrum an Zahnfarben zur Auswahl [Burgt, van der 1985, Culpepper 1970, Grajower et al. 1976, Schriever et al. 1993, Shotwell et al. 1986, Okubo et al. 1998], da diese nur über 15 bis 25 verschiedene Farben verfügen [Goodkind et al. 1987]. Bereits 1931 wurden Untersuchungen von Clark an 6000 menschlichen Zähnen durchgeführt und dabei 532 verschiedene Farben ermittelt [Schriever et al. 1993]. Die im Handel erhältlichen Farbringe decken die natürlich vorkommenden Zahnfarben nicht ausreichend ab, wie Culpepper 1970, Seghi et al. 1986 und Sproull 1973b dokumentieren.

Die Auswahl der passenden Zahnfarbe ist häufig problematisch [Jorgenson et al. 1979, Pizzamiglio 1991, Setz et al. 1992], da Farbe als eine subjektive Sinneswahrnehmung kaum reproduzierbar ist [Culpepper et al. 1970, Heinenberg 1990, Schriever et al. 1993]. Die Farbauswahl geschieht durch den Farbvergleich des Patientenzahnes mit dem

Farbring [Baumann et al. 1994, Burgt, van der 1985, Grajower et al. 1976, Musil et al. 1983, Setz et al. 1992, Sproull 1973b]. Dabei ist von entscheidender Bedeutung, inwieweit sich die Farbe des ausgewählten Farbringzahnes mit der Farbe des Patientenzahnes deckt, bzw. inwieweit Abweichungen akzeptierbar sind [Sproull 1973b]. Diese verwendeten Farbringe werden von den Herstellern der Keramikverblendmassen auf dem Dentalmarkt angeboten und beziehen sich auf die eigene Farbpalette [Henning et al. 1982]. Daher ist man genötigt, den Farbring derjenigen Firma zu benutzen, deren Keramikmassen vom Techniker verwandt werden. Am häufigsten werden die Massen der Firmen *Biodent*, *Vita* und *Ivoclar* benutzt [ibid.]. Diese Farbringe wurden an hunderten von Patienten getestet und repräsentieren Mittelwerte der am häufigsten vorkommenden Farben [ibid.]. Weitere Untersuchungen zeigten, dass Zahnärzte meist nur eine gewisse Anzahl der ihnen zur Verfügung stehenden Farben nutzen. Daher werden oft nur Standardfarben verwandt, wie beispielsweise *Biodent 21, 22, 24* oder *Vita A3,5, C2, D2, D3* [ibid.].

Es existiert noch ein weiteres Problem in der Farbringverwendung. Es ist nämlich prinzipiell nicht möglich, die drei von dem amerikanischen Maler Munsell entwickelten Parameter Farbton (*hue*), Helligkeit (*value*) und Sättigung (*chroma*) mit dieser Methode zu bestimmen [Goodkind et al. 1987, Henning et al. 1982, Schriever et al. 1993]. Es ist eine enorme Herausforderung an den Zahnmediziner die drei Dimensionen der Farbe während der Behandlung wahrzunehmen [Sproull 1973a].

Neuerdings gibt es Bestrebungen der Dentalfirmen dieses Problem mit modifizierten Farbringen zu lösen. Allerdings stoßen auch diese Lösungsversuche schnell an ihre Grenzen [Sproull 1973b]. So gibt etwa die Firma *Vita* an, mit Ihrem System *Vita 3D Master* die Präzision der Farbnahme erhöhen zu können. Dieses System besteht in einer Farbskala zur Bestimmung natürlicher Zahnfarben, die nach einem farbmetrischen Ordnungsprinzip auch systematisch aufgebaut ist. Sie berücksichtigt die drei Dimensionen (*3D*), die den Farbeindruck bestimmen: Farbhelligkeit (*value*), Farbintensität (*chroma*) und Farbton (*hue*). Das dieser Farbskala zugrunde liegende Farbsystem soll eine unübertroffene Sicherheit in Bezug auf die Eindeutigkeit der Farbauswahl ermöglichen. Dreidimensionale Darstellungen der Farben werden, wie bereits erwähnt, auf ein Modell des amerikanischen Malers Munsell zurückgeführt [Jorgenson et al. 1979, Pizzamiglio 1991, Schwabacher et al. 1990]. Dieser entwarf 1915 einen Farbbaum, bei dem Farbabstufungen nach *hue* und *chroma* qualitativ in einem Kreis zusammengestellt werden. Als dritte Koordinate gilt ein durch den Kreis verlaufender Stamm, an dem die Helligkeitswerte (*value*) der Farben aufgetragen

werden. Dadurch ist es möglich jede vorkommende Farbe in diesem dreidimensionalen System darzustellen [Kappert et al. 1992, Lund et al. 1985, Sproull 1973a]. Das von Munsell vorgestellte Farbsystem ist das weltweit meist benutzte Referenzsystem um Farben zu kategorisieren und gilt als Standard, an dem alle anderen Systeme gemessen werden [Jorgenson et al. 1979]. Ein Farbring auf Basis des *Munsell Color Order System* könnte, wenn er nur den benötigten Farbbereich der Zähne enthalten würde und die Farbintervalle von *hue*, *value* und *chroma* klein genug wären, eine schnelle und sichere Farbwahl gewährleisten [Sproull 1973b].

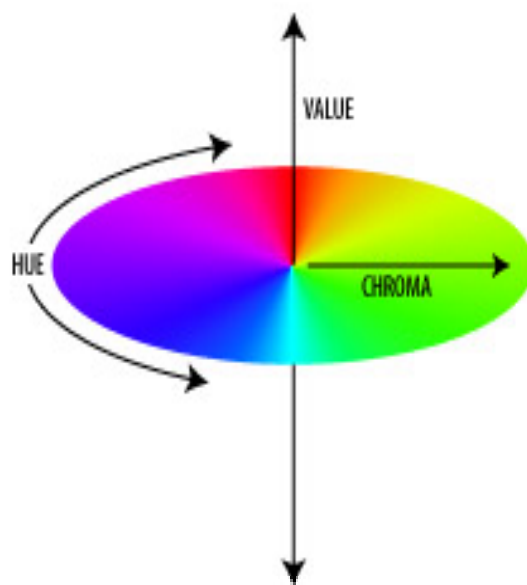


Abb.3.2.1 Schematisierter Farbbaum nach Munsell

Ein weiteres großes Problemfeld bei der Benutzung von Farbringen ergibt sich durch die Tatsache, dass die Keramikmassen der Farbringe nicht den Massen der Aufbrennkeramiken im Detail entsprechen. Die Zusammensetzung in Bezug auf die Fluoreszenzstoffe variiert und diese beiden Massen werden auch bei unterschiedlichen Temperaturen gebrannt [Henning et al. 1982]. Ebenso ist die Ästhetik nur unbefriedigend vergleichbar, da bei Farbringen ein Zahnhalsmuster vorhanden ist, das für die eigentliche Farbbestimmung des Grundfarbtones der mittleren Zahnfläche eher hinderlich ist [ibid.]. Desweiteren sind die Schneiden der Farbmuster zu transparent und breit gestaltet [ibid.]. In der Natur würde man solche Schneidekanten nur bei den Schneidekanten jugendlicher Patienten finden, aber nicht bei prothetisch zu versorgenden, meist älteren Patienten, wo durch Abrasion und Attrition die Anatomie des Zahnes schon dahingehend verändert ist, dass die



Schneidekante nicht mehr in der jugendlichen Form vorliegt [ibid.]. Daher sollte man den Grundfarbton des Zahnhalses und der Schneidekante gesondert bestimmen [ibid.]. Aus diesen Gründen wurde in der Literatur bereits darauf hingewiesen, dass die Farbringe individuell nachgearbeitet werden sollen. Es wird empfohlen, Zahnhals und Schneidekante an den Musterzähnen zu entfernen, damit nur noch der mittlere, repräsentative Farbton der entsprechenden Keramikmasse übrig bleibt [Baumann et al. 1994, Henning et al. 1982].

Farbringe bleichen mit der Zeit aus und verändern somit ihre ursprüngliche Farbe, was als weiteres Problem zu werten ist [Musil et al. 1983].

Eine zusätzliche Fehlerquelle der Farbbestimmung ergibt sich aus dem Herstellungsprozess der Farbringe. Sie stimmen mit den Keramikfarben auch dahingehend nicht überein, als dass sie kein metallenes Gerüst haben. Daher stimmen diese mit einer Aufbrennkeramik auf einem Metallgerüst in ästhetischer Hinsicht nicht exakt überein [Henning et al. 1982].

Ebenso wird von materialbedingten Farbabweichungen von Charge zu Charge der hergestellten Farbringe berichtet [Grajower et al. 1976, Musil et al. 1983, Schriever et al. 1993, Setz et al 1992].

Kappert (1992) untersuchte jeweils zwei Farbringe der Firmen *DeTray Dentsply* (Dreieich, BRD) und *Ivoclar* (Schaan, Liechtenstein) mit Hilfe eines Simultanspektrometers der Firma *Zeiss* (Oberkochen, BRD). Er stellte in seinem Vergleich der beiden Farbringe eines Herstellers „teilweise erschreckende Diskrepanzen und Überschneidungen“ [Kappert 1992, S. 1295] zwischen den einzelnen vermeintlich gleichen Farben fest. Kappert sah daher ein Einsatzgebiet der elektronischen Farbüberwachung im Herstellungsprozess der Farbringe. So könnten fehlerhaft produzierte Farbringe direkt auffallen und nicht in den Handel gelangen. Für die Anwendung dieser neuen Technik in der täglichen zahnärztlichen Praxis sah er jedoch keinen gesteigerten Bedarf. Kappert behauptet, das menschliche Auge sei hervorragend geeignet feinste Farbunterschiede wahrzunehmen und Farben richtig zuzuordnen.

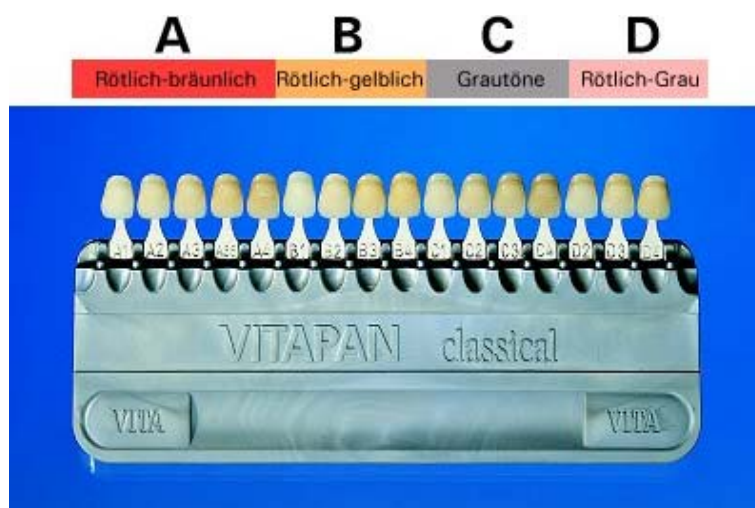


Abb.3.2.2 Farbring *Vitapan classical* der Firma *Vita* mit Angabe der Hauptfarbtöne

### 3.3. Lichteinflüsse

Die Farbbestimmung bei günstigen Lichtverhältnissen ist eine Grundvoraussetzung [Grajower et al. 1976, Hammer et al. 1992]. In der Literatur wird angegeben, man solle die Farbwahl vormittags um 11 Uhr im Frühjahr oder Herbst bei unbewölktem Himmel am Fenster treffen [Henning et al. 1982, Hohmann/Hielscher 1987]. Tageslicht hat ein deutliches Intensitätsmaximum im grünen Bereich, also zwischen 450 nm und 550 nm [Kappert et al. 1992]. Da diese Forderung sicherlich nur schwer erfüllbar ist [Barna et al. 1981, Schriever et al. 1993] und eine Standardisierung natürlichen Lichtes schwierig ist [Obregon et al. 1981], wird auf adäquate Lichtquellen hingewiesen [Grajower et al. 1976, Reis 1995]. So sind beispielsweise Tageslichtlampen der Firmen *Osram* und *Phillips* geeignet [Henning et al. 1982]. Diese Tageslichtlampen werden als Leuchtstoffröhren auf dem Markt angeboten. Lichtquellen, die dieses Tageslicht in etwa nachbilden, werden mit D 65 [Reis 1995, Shotwell et al. 1986] oder nach DIN 5033 auch als Normlicht C bezeichnet [Kappert et al. 1992, Setz et al. 1992]. Eine wichtige Eigenschaft der Lichtquellen ist die richtige Farbtemperatur, da der Farbeindruck sich mit dieser verändert [Henning et al. 1982, Hohmann/Hielscher 1987]. Diese Farbtemperatur wird in Grad Kelvin angegeben und beschreibt die Qualität des Lichtes einer Lichtquelle [Obregon et al. 1981]. So erscheinen Zähne bei 5500 Grad Kelvin weiss und bekommen bei 4200 Grad Kelvin einen gelb-grünlichen Stich. Die optimale Temperatur, die das mittlere Tageslicht widerspiegelt sollte bei 6500 Grad Kelvin liegen [Henning et al. 1982, Hohmann/Hielscher 1987]. Diese Gradzahl ist nur mittels spezieller Tageslicht-Leuchtstoffröhren zu erreichen. Normale Glühlampen

und herkömmliche Leuchtstoffröhren erreichen nur Temperaturen bis zu 3000 Grad Kelvin bzw. 4000-5500 Grad Kelvin. In der DIN 5033 sind alle Normlichtarten beschrieben [Henning et al. 1982].

Man kann Farben nur bei entsprechender Beleuchtungsstärke erkennen. Diese soll nach DIN 76505 auf der Zahnfläche 1200 bis 1500 Lux ( $lx$ ) betragen [Henning et al. 1982, Hohmann/Hielscher 1987, Reis 1995]. Wenn die Beleuchtungsstärke über 1500 lx liegt, kann man Farbnuancen nur noch schlecht differenzieren, führt Henning 1992 weiter aus. Daher ist es ein großer Fehler die Operationsleuchte am Stuhl zur Auswahl der Farben heranzuziehen, da diese mit etwa 8000 lx die Zähne entscheidend zu hell erscheinen lässt. Er fordert, ebenso wie Grajower et al. (1976), dass die Lichtquelle, mit der die Farbe am Behandlungsstuhl ausgesucht wird, mit der im Labor während der Herstellung des Zahnersatzes übereinstimmt.

In der Literatur wird gefordert, die Farbnahme nur unter standardisierten Lichtverhältnissen durchzuführen [Grajower et al. 1976, Sproull 1974]. Körperfarben sind beispielsweise nur bei Beleuchtung mit einer bestimmten Lichtquelle farbgleich [Grajower et al. 1976]. Wird eine andere Lichtquelle benutzt, können diese deutliche Farbunterschiede zeigen [Hegenbarth 1992, Seghi et al. 1986, Setz et al. 1992, Shotwell et al. 1986, Sproull 1974, Steger 1990]. Dieses Phänomen wird *Metametrie* genannt [Grajower et al. 1976, Kappert et al. 1992, Reis 1995, Shotwell et al. 1986, Sproull 1974]. Nur durch eine standardisierte Lichtquelle könne daher eine Arbeitsgrundlage geschaffen werden, die es ermöglicht, objektiv Farben zu beurteilen [Hegenbarth 1992, Kappert et al. 1992, Sproull 1973a].

### **3.4. Einflüsse des Farbbestimmenden**

Die Farbauswahl ist in entscheidendem Maße vom Betrachter abhängig [Bangtson et al. 1982, Burgt, van der 1990, Faber et al. 1999, Lund et al. 1985, Obregon et al. 1981, Okubo 1998, Sproull 1973b]. Dieser muss Zahnfarbe und Musterzahn des Farbringes vergleichen und entsprechend richtig zuordnen [Setz et al. 1992, Sproull 1973b].

Demzufolge wird als Grundvoraussetzung eine Normalsichtigkeit des Farbbestimmenden, insbesondere im Bezug auf das Farbsehen gefordert [Hohmann/Hielscher 1987]. In der Literatur wird angegeben, dass etwa 8 v.H. der männlichen und 0,5 v.H. der weiblichen Bevölkerung Farbfehlsichtigkeiten aufweisen [Henning et al. 1982, Velhagen und Broschmann 1989]. Moser et al. führten 1985 einen Test an 670 praktizierenden Zahnärzten und Zahnärztinnen durch. Diese hatten eine

durchschnittliche Berufserfahrung von 20 Jahren und behandelten im Schnitt 50 Patienten in der Woche. Moser et al. führten die Untersuchung an Hand des *Dvorine Pseudo-Isochromatic Plate* Tests durch. Danach hatten 9,9 v.H. der getesteten Personen eine geringgradige Farbschwäche und 2,8 v.H. eine Farbfehlsichtigkeit. Da der Autor zu 94% männliche Probanden testete, schließt sich eine aussagekräftige geschlechtsspezifische statistische Untersuchung aus. Die Anzahl der Probanden mit Farbschwäche steigt von 1,4% bei den bis 29 Jahre alten auf 15,4% bei den über 70 Jahre alten Probanden.

Es wird gefordert, dass sich jeder, der Farben bestimmen möchte, einem Test diesbezüglich unterzieht [Barna et al. 1981, Henning et al. 1982, Moser et al. 1985]. Üblicherweise werden Farbfehlsichtigkeiten hierzulande mittels *Ishihara-Tafeln* überprüft. Dennoch nimmt das menschliche Auge nur qualitative Sinneseindrücke wahr und ordnet die Farben mittels eines Farbringes in „passend“ oder „nicht passend“. Demzufolge sind individuelle Abweichungen zwangsläufig [Schriever et al. 1993, Seghi et al. 1986]. Auch ist die Farbempfindung selbst bei der normalsichtigen Bevölkerung nicht völlig gleich. Selbst bei ein und der gleichen Person ist sie nicht über einen längeren Zeitraum gleichbleibend, sondern stark situationsabhängig, so etwa vom Ermüdungszustand des Betrachters [Kappert et al. 1992, Okubo et al. 1998, Reis 1995].

Eine 1991 veröffentlichte Studie von Donahue et al. sollte den geschlechtsspezifischen Unterschied zwischen Frauen und Männern im Bezug auf die Farbauswahl, insbesondere im zahnmedizinischen Bereich klären. Für diese Studie wurden sechs weibliche und sechs männliche Studenten der Zahnheilkunde ausgewählt. Im Vorfeld des Testes mussten sich diese einem Farbsehtest unterziehen, um eine Farbfehlsichtigkeit der Probanden ausschließen zu können. Der Farbsehtest wurde mit Hilfe des *Farnsworth-Munsell 100 Hue* Test und des *Farnsworth Panel 15* Tests durchgeführt. Im Anschluss sollten die Probanden gegenseitig ihre Zahnfarbe bestimmen. Dazu kamen die drei Farbringe *Vita Lumin vacuum* (*Vita-Zahnfabrik*, Bad Säckingen, BRD), *Crystar porcelain* (*Unitek Corporation*, Monrovia, Kalifornien, USA), *Bioform* (*Dentsply Int.*, York, GB) zum Einsatz. Die Farbbestimmung erfolgte für die ersten beiden Farbringe unter drei verschiedenen Lichtquellen: 1. natürliches Nordlicht, 2. *Lumin Shade light* (spezielle Tageslichtlampe entwickelt für den Dentalbereich), und 3. unter einer *Philips-Westinghouse Ultrahume fluorescent tube* Behandlungsleuchte. Der *Bioform* Farbring wurde nur unter natürlichem Tageslicht eingesetzt. Die bestimmten Zahnfarben wurden aufgezeichnet und auf

geschlechtsspezifische Unterschiede hin untersucht. Im Ergebnis dieser Studie konnte festgestellt werden, dass Frauen unter Einfluss des *Vita-Lumin shade lights* eher die gleiche Zahnfarbe aussuchten, als unter den beiden anderen Lichtverhältnissen. Bei den Männer gab es keine statistisch signifikanten Unterschiede in der Farbübereinstimmung unter dem Einfluss der verschiedenen Lichtquellen. Die Übereinstimmung der bestimmten Zahnfarben lag bei den Männern bei insgesamt 63%, bei den Frauen bei insgesamt 58%. Statistisch stimmten die ausgewählten Zahnfarben der Männer also um 5% mehr überein, als die Auswahl der Frauen, was aber im klinischen Alltag keine spürbaren Konsequenzen in der Farbauswahl zwischen den Geschlechtern herbeiführen würde.

Culpepper (1970) führte eine Studie durch, in der 37 Zahnmediziner aus allen Bereichen der Zahnheilkunde, die durchschnittlich 38 Jahre alt waren und im Schnitt 13 Jahre Berufserfahrung hatten, sechs natürliche Zähne mit vier verschiedenen Farbringen unter vier verschiedenen Lichteinflüssen bestimmen sollten. Die Zähne wurden vor der Farbnahme gereinigt. Es wurden Farbringe folgender Firmen benutzt: *Bioform*, *Bioblend*, *New Hue* und *Imperial*. An den Farbringen wurden die herstellerseitig angebrachten Zahnfarbangaben entfernt und die einzelnen zur Auswahl stehenden Farben wurden kodiert. Als Lichtquellen dienten 1. natürliches Tageslicht, 2. eine mobile lichtdichte Zelle, die im Inneren mit drei 20 Watt *Sylvania cool-white fluorescent* Leuchtstoffröhren beleuchtet wurde. Als 3. und 4. Lichtquellen wurden zwei Prototypen speziell entwickelter Lampen zur Farbbestimmung in der Zahnheilkunde verwandt. Diese speziell entwickelten Lampen waren der *Dental Shade Comparator* (*J.F. Jelenko & Company*, New Rochelle, USA) und eine mobile Farbbestimmungslampe *DCML-1* (*Mac Beth Corporation*, Newburgh, USA). In der Untersuchung wurde die höchste Übereinstimmung in der Farbwahl für einen Zahn mit 39% der farbbestimmenden Probanden angegeben. Einen signifikanten Einfluss durch die verschiedenen Lichtquellen konnte der Autor nicht bestätigen. Die Verwendung des *Bioform* Farbringes lieferte die meisten Übereinstimmungen, der *Bioblend* Farbring die wenigsten, die Übereinstimmungen der beiden anderen Farbringe lagen dazwischen. Die Abweichungen waren allerdings zu gering um einen deutlich besser geeigneten Farbring herauszufiltern. Culpepper konnte aber im Verlauf der Studie feststellen, dass Zähne mit homogener Färbung schneller und leichter von den Probanden bestimmt werden konnten. In einer Folgestudie sollte geklärt werden, ob die Probanden reproduzierbare Ergebnisse liefern können. Aber

nur 12 der 37 Zahnärzte wählten die gleichen Zahnfarben wie bei der ersten Versuchsreihe aus.

Barna et al. führten 1981 eine klinische Studie durch, in der zwei Sets identischer Farbplättchen hergestellt wurden. Jedes Set bestand aus 25 Farbplättchen, die nach dem Munsell-Prinzip genau nach hue, chroma und value geordnet waren. Alle Plättchen hatten eine Farbhelligkeit (value) von 7,75. Der Farbton (hue) verlief in Schritten von 0,55 angefangen von 0,7 bis 2,95 der Gelbfarbtöne. Die Farbintensität der Plättchen reichte von 2,85 bis 3,6, wobei der erste Schritt 0,15, die weiteren 0,2 betrug. Das erste Set wurde auf einem neutral grauen Hintergrund in einer lichtdichten Kabine ausgelegt. Die Beleuchtung dieses Sets erfolgte durch *Verd-A-Ray critiColor* „farbechte“ Leuchtstoffröhren. Von dem identischen zweiten Farbsset wurden fünf Farben ausgesucht, die von 50 Zahnärzten bei unterschiedlicher Lichtintensität der Leuchtstoffröhren zugeordnet werden sollten. Die Zahnärzte hatten sich im Vorfeld einem Farbsehtest unterzogen. Von den 50 Zahnärzten hatten sieben eine Farbfehlsichtigkeit. Die Probanden, die keine Farbfehlsichtigkeit hatten, ordneten 44% der Plättchen richtig zu. Die Probanden mit einer Farbfehlsichtigkeit ordneten allerdings nur 13% entsprechend richtig zu. Unterschiedliche Lichtintensitäten konnten keine signifikanten Abweichungen in der Farbzurordnung erkennen lassen. Eine Unterteilung der Zahnärzte ohne Farbfehlsichtigkeit in eine Gruppe mit weniger als zehn Jahren Berufserfahrung und eine mit mehr als zehn Jahren Berufserfahrung zeigte, dass 46% aller Zuordnungen der Berufsunerfahreneren richtig waren. Die Probanden mit mehr Berufserfahrung hatten eine Rate von 40% richtiger Zuordnungen.

In einer Untersuchung von Anusavice et al. (1995) wurden die Probanden aufgefordert ein Keramikplättchen einer bestimmten Farbe einem für sie farblich passenden Keramikplättchen aus einer Auswahl von zwölf Plättchen zuzuordnen. Alle Keramikplättchen wurden aus Keramikmassen der Firma *Vita* hergestellt. Die zwölf Plättchen, an denen die Zuordnung erfolgen sollte, waren aus unterschiedlichen Farbmassen hergestellt, wobei ein Plättchen exakt aus der Farbmasse des Plättchens bestand, welches die Probanden zuordnen sollten. Als Probanden stellten sich 60 Zahnärzte, 40 Studenten der klinischen Semester und 40 Studenten der vorklinischen Semester zur Verfügung. Die korrekte Farbe ordneten 57,5% der Zahnärzte, 59,2% der Studenten der klinischen Semester und 56,7% der Studenten der vorklinischen Semester zu.

Faber et al. veröffentlichten 1995 eine Studie, in der 103 Probanden (47 davon „farberfahrene Keramiker“ und 56 Zahnmedizinstudenten der unteren Semester) zehn Keramikzähne der *Vita-Lumin*-Farbskala einander zuordnen sollten. Der Farbvergleich fand in einer Tischkabine unter Beleuchtung durch eine *Osram* Tageslichtlampe statt. Mittelwertig wurden von den „Keramikern“  $7,9 \pm 1,6$  und von den Studenten  $4,9 \pm 2,0$  Farbmuster richtig zugeordnet. Parallel dazu wurden die Keramikzähne unter Zuhilfenahme des Farbmessgerätes *Castor* (Fa. *Nordmeditech*, Flensburg, BRD, mittlerweile *Sigma-Dental*) einander zugeordnet. Diese Zuordnung erfolgte durch drei verschiedene Benutzer des Farbmessgerätes. Von den zehn Farbmustern wurden im Mittel je Messserie  $5,6 \pm 3,0$  Farben richtig zugeordnet.

In einer 1999 veröffentlichten Studie von Faber et al. zum gleichen Thema forderten diese Zahnärzte, Zahnarthelferinnen, Zahnmedizinstudenten und Zahntechniker auf, 10 kodierte Zahnmuster einer *Vita-Lumin*-Farbskala einem vollständigen Farbring in einer mit Tageslichtröhren der Firma *Osram* erleuchteten Tischkabine zuzuordnen. Das Probandenkollektiv bestand aus insgesamt 188 Personen, von denen 74 männlichen und 114 weiblichen Geschlechts waren. In der Gruppe fanden sich 48 Zahnarthelferinnen, 56 Zahnmedizinstudenten, 51 Zahntechniker -mit Schwerpunkt Keramikarbeiten- und 33 Zahnärzte wieder. Jeder der Probanden unterzog sich einer Farbtüchtigkeitsüberprüfung, durchgeführt mit *Ishihara-Tafeln* nach Velhagen und Broschmann. Danach wurde bei einem Probanden eine rot-grün-Untüchtigkeit festgestellt und bei 25 der Probanden eine rot-grün-Schwäche. Eine korrekte Zuordnung pro Proband erfolgte mittelwertig in  $5,8 \pm 2,3$  von maximal zehn möglichen Fällen. Eine Untersuchung bezüglich des Geschlechts ergab keine nennenswerten Differenzen ( $6,0 \pm 2,4$  für die männlichen und  $5,8 \pm 2,3$  für die weiblichen Probanden). Beachtlich war jedoch der signifikante Unterschied in den nach Alter gestaffelten Gruppen. So gab es  $4,8 \pm 1,9$  richtige Zuordnungen in der Gruppe der bis 30jährigen und  $6,4 \pm 2,8$  richtige Zuordnungen in der Gruppe der 40- bis 50jährigen (in dieser Gruppe waren überdurchschnittlich viele Zahntechniker). Nach Berufsgruppen unterteilt tätigten die Zahnärzte  $5,7 \pm 2,2$ , die Zahnarthelferinnen  $4,7 \pm 1,8$ , die Zahnmedizinstudenten  $4,9 \pm 2,0$  und die Zahntechniker  $8,0 \pm 1,6$  richtige Zuordnungen. Der Vergleich zwischen den Zuordnungen Farbtüchtiger und Probanden mit Farbfehlsichtigkeiten konnte zu keinem statistisch signifikanten Unterschied führen.

Auch unter standardisierten Bedingungen ist das menschliche Auge nur bedingt fähig getroffene Farbbewertungen zu reproduzieren [Schriever et al. 1993]. In der Literatur

wird oft beklagt, dass die Zahnärzte ein Manko in Bezug auf die Farbbestimmung hätten [Sproull 1973b]. So hätten sie oftmals nicht das entscheidende Wissen über die dargelegten Belange wie Licht, Umgebungseinflüsse, etc. [Sproull et al. 1973a und 1974]. Ebenso wird eine unzureichende Schulung der Studenten auf dem Gebiet der Farbbestimmung bemängelt [Pizzamiglio 1991, Sproull 1974]. Sproull (1974) bemängelt, dass seit seiner 1968 fertiggestellten Untersuchung kaum Besserungen in der Studentenausbildung stattgefunden hätten. In seiner damaligen Untersuchung wurde ein Fragebogen zur Ausbildung bezüglich Zahnfarbbestimmung an 238 Zahnkliniken weltweit geschickt, von denen 115 antworteten. Aus den Antworten ergab sich, dass von diesen 115 Universitäten nur an dreien ein Kursus über Farbe, bzw. Farbbestimmung in der Zahnheilkunde angeboten wurde. An fünf Universitäten gäbe es laut den Antwortschreibern „Farbspezialisten“.

Goodkind et al. nahmen Bezug auf diese Vorwürfe Sproulls. Sie starteten 1988 eine Studie über die Lehre an den Universitäten bezüglich der Farbbestimmung, die 1992 veröffentlicht wurde. Diese Studie sollte Sproulls erwähnte Arbeit über dieses Thema fortführen. So wird berichtet, dass mittlerweile ein Fortschritt in der Unterrichtung der Studenten bezüglich der Farbbestimmung, ebenso weitere Untersuchungen und Arbeiten über vorgenanntes Thema stattgefunden hätten. So wurden 1988 an 30% der amerikanischen Dental Schools spezielle Kurse zur Farbbestimmung angeboten, 1968 waren es nur 2,6%. Die Befragten gaben weiterhin zu 85% an, dass eine Weiterentwicklung der Farbringe stattfinden müsse. Goodkind et al. bemängelten aber, dass die Industrie nur unzureichend auf die gestellten Forderungen und neuen Forschungsergebnisse eingehen würde. Dies sehen die Autoren in der Tatsache begründet, dass die ihrer Meinung nach eher konservativen Zahnmediziner nicht die entscheidenden Impulse an die Industrie weitergeben würden.

Jedoch soll das menschliche Auge als Kontrollinstanz bei der Farbbestimmung auch durch weitere Entwicklungen auf dem Dentalmarkt nicht ersetzt, sondern ergänzt werden [Okubo et al. 1998, Schriever et al. 1993].

Als mögliches Problem muss auch die Kommunikation zwischen dem Zahnarzt als farbaussuchender Person und dem Zahntechniker als Hersteller der prothetischen Restauration gewertet werden [Bos 1986, Pizzamiglio 1991, Shotwell et al., 1986]. Hierbei spielen unterschiedliche subjektive Farbwahrnehmungen eine große Rolle [Grajower et al. 1976] und sollten so weit als möglich reduziert werden.



### 3.5. Farbauswahl

Um die richtige Farbwahl mit Farbringen treffen zu können, muss daher oben genannten Problemen Rechnung getragen werden.

Zusammenfassend wird daher gefordert, möglichst neue Farbringe zu benutzen, eventuell diese in der Form dergestalt zu modifizieren, dass man Schneidekanten und Zahnhäse entfernt. Des Weiteren sollte der Patient bei der Abmusterung dazu angehalten werden kein kräftiges Make-up [Reis 1995], sowie keine bunten Kleidungsstücke zu tragen, da das Aussehen einer Farbfläche ebenfalls von deren Umgebung beeinflusst wird. Der Beobachtungsabstand des Behandelnden zum Zahn sollte etwa 30-40 cm betragen. Ebenso ist die Forderung einzuhalten Lichtstärken von etwa 30 cd pro m<sup>2</sup> zu verwenden, da das Farbsehen erst dadurch ermöglicht wird. Ideal ist diffuses Tageslicht oder eine Tageslichtlampe in der Form, wie sie oben beschrieben wurde.

Selbst bei Farbauswahl unter Berücksichtigung aller geforderter Maßnahmen ist es für eine gelungene prothetische Arbeit unumgänglich, einen umfangreichen Informationsfluss mit dem Zahntechniker zu schaffen [Bos 1986, Hegenbarth 1992]. So sollen dem Zahntechniker neben den üblichen Arbeitsunterlagen und der Farbwahl auch Patientenfotos zur Verfügung gestellt werden [Bos 1986, Hammer et al. 1992, Hegenbarth 1992, Niederau 1992].

### 3.6. Instrumentelle Farbbestimmung

Trotz aller Bemühungen geschieht es in der zahnärztlichen Praxis, dass prothetische Versorgungen nicht den Erwartungen hinsichtlich ihrer Ästhetik entsprechen [Bangston et al. 1982]. Gründe dafür sind unter anderem darin zu suchen, dass nicht immer alle Forderungen zur Farbwahl optimal eingehalten werden können. Dies verursacht zusätzlichen Zeit- und Arbeitsaufwand, der Patient ist unzufrieden und letztendlich entsteht auch ein weiterer Kostenaufwand [Das Internationale Zahntechnikermagazin 2001]. Durch diese komplexe Problematik wäre es für den praktizierenden Zahnarzt wünschenswert über ein Hilfsgerät zu verfügen [Bangston et al. 1982], dass bei der Farbnahme bessere, reproduzierbarere und zuverlässigere Resultate liefern könnte [van der Burgt 1990, Okubo et al. 1998, Setz et al. 1992, Sproull 1973b]. Laut Henning et al. (1982) war die Farbbestimmung bis dato nur unzureichend gelöst.

Die Industrie bemüht sich daher seit geraumer Zeit Geräte zu entwickeln, die unabhängig von äußeren Einflüssen und individueller menschlicher Fehlerquellen [Dental-Labor 2001, Faber 1995, Musil et al. 1983, Seghi et al. 1986] eine exakte und reproduzierbare [Okubo et al. 1998] Farbbestimmung ermöglichen [Faber et al. 1998, Goodkind et al. 1987].

Zur Objektivierung der Farbbewertung werden heute in der Zahnheilkunde wie in vielen anderen Bereichen Farbmessgeräte eingesetzt [Okubo et al. 1998]. Diese Messgeräte sollen die menschliche Farbempfindung in reproduzierbare, leicht vergleichbare Zahlenwerte umwandeln [Faber et al. 1998, Okubo et al. 1998, Seghi et al. 1986]. Sie sollen dazu dienen, Unzulänglichkeiten von Farbringen objektiv zu analysieren und dadurch zu deren Verbesserung beitragen [Kappert et al. 1992]. Es sollte allerdings nicht uneingeschränkt angenommen werden, dass die heute angebotenen Farbmessgeräte völlig vor Fehlern in der Farbnahme schützen. Dies hängt damit zusammen, dass das Licht, welches vom Messgerät emittiert wird, am Zahn gebrochen, absorbiert und reflektiert wird. Ebenso ist der Zahn an der Messfläche nicht völlig ebenmäßig, was Geräten dieser Machart entgegenkäme [Okubo et al. 1998].

Erste methodische Ansätze zur Objektivierung der Farbmessung sind in der Nutzung von Spektrophotometern zur Remissionsphotometrie zu sehen [Shotwell et al. 1986]. Um eine metrische Bewertung der Farben unter Ausschaltung subjektiver Faktoren bemüht sich das 1931 entwickelte und seit dem als internationaler Standard für Farbwahrnehmung geltende CIE-System (Commission Internationale de l'Eclairage) [Bangtson et al. 1982, Jorgenson et al. 1979, Kappert et al. 1992, Musil et al. 1983]. Dieses System beruht auf der additiven Farbmischung [Bangtson et al. 1982, Jorgenson et al. 1979]. In diesem System werden die Farbwerte durch Helligkeitsmessung der Farbe in drei Valenzen direkt gemessen [Musil et al. 1983]. Als *Farbvalenz* wird der Wert des Farbreizes für die additive Farbmischung verstanden [ibid.]. Ausgangspunkt ist die von Young und Helmholtz 1911 begründete Theorie der trichromatischen Farbdarstellung und die von Munsell (1915) geschaffene dreidimensionale Darstellung der Farben in dem von ihm entworfenen Farbbaum [Hegenbarth 1992, Kappert et al. 1992].

Nach dieser Theorie ist jede Farbe aus den drei Grundfarben rot, grün und blau mischbar [Bangtson et al. 1982, Musil et al. 1983]. Den jeweiligen drei Grundfarben entsprechen drei Reizzentren im Auge, deren Sensibilität über die Breite des Spektrums in experimentell ermittelten Norm-Spektralwertkurven verläuft [Musil et al.

1983]. Die gemessenen Norm-Farbwerte X (rot), Y (grün) und Z (blau) stellen die absoluten Anteile der drei Farbvalenzen am Ergebnis der additiven Farbmischung dar [Bangtson et al. 1982, Musil et al. 1983]. Für die Farben können dadurch numerische Werte für X, Y und Z angegeben werden [ibid.]. Diese numerischen Farbwerte werden bei maschinellen Farbmessungen routinemäßig in CIE-Daten übersetzt [Bangtson et al. 1982, Jorgenson et al. 1979].

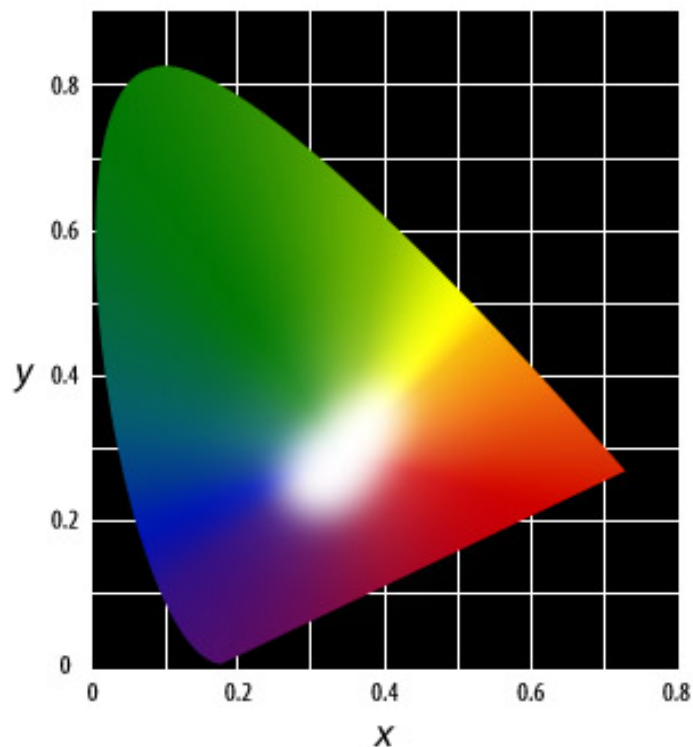


Abb. 3.6.1 CIE Koordinatensystem mit den Achsen x, y und z (z steht auf x und y)

Auf dieser Theorie basiert das 1976 von der Commission Internationale de l'Eclairage (CIE) (internationale Beleuchtungskommission) eingeführte CIE-Lab-System (CIE  $L^*a^*b^*$ ) nach DIN 6174 [O'Brien 1989]. Die Helligkeit einer Farbe wird dabei durch den L-Wert charakterisiert [Baumann et al. 1994, Setz et al. 1992]. Dieser L-Wert kann Werte zwischen 0 (schwarz) und 100 (weiss) annehmen [Baumann et al. 1994]. Die *a*- und *b*-Werte beschreiben sowohl den Farbton, als auch die Sättigung [Baumann et al. 1994, Seghi et al. 1986]. Diese Werte beschreiben eine Position des Farbortes auf zwei Farbachsen [Baumann et al. 1994, Jorgenson et al. 1979], wobei *a* der rot-grün-Achse und *b* der gelb-blau-Achse zugeordnet sind [Baumann et al. 1994, Okubo et al. 1998, Seghi et al. 1986, Setz et al. 1992].

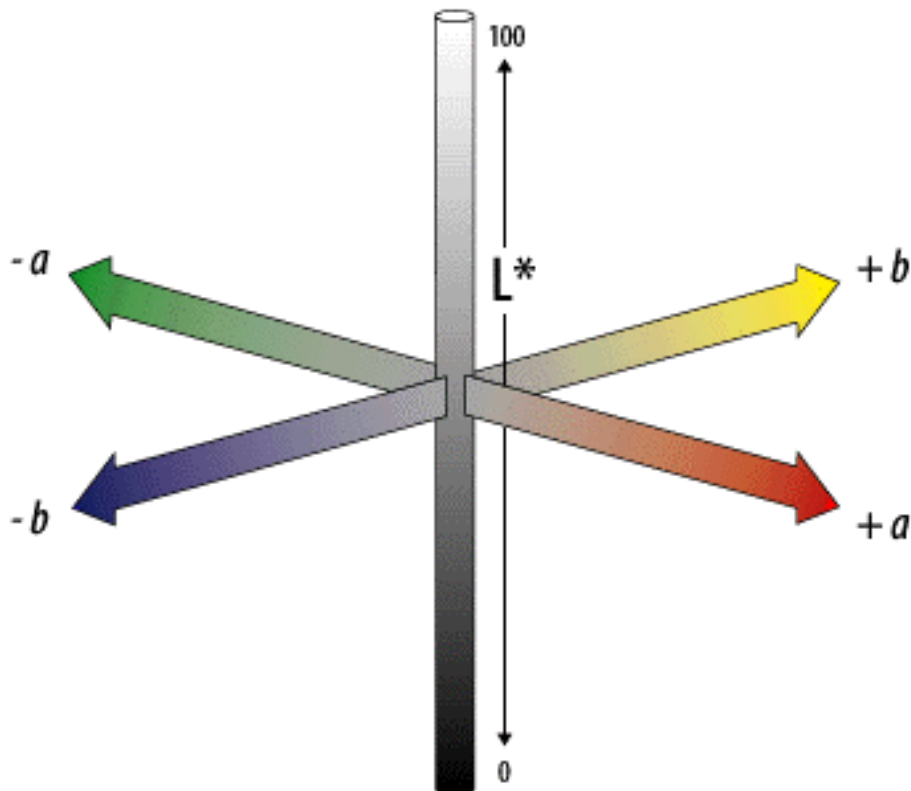


Abb. 3.6.2 CIE-Lab System mit den Helligkeitswerten L und den a und b Werten, die Farbton und Sättigung angeben

So beschreibt zum Beispiel ein positiver  $a$ -Wert einen roten, ein negativer einen grünen Farbton [Baumann et al. 1994]. Ein gelber Farbton wird durch einen positiven  $b$ -Wert bezeichnet, ein blauer Farbton durch einen negativen [Baumann et al. 1994, Seghi et al. 1986]. Je größer der Betrag des jeweiligen Wertes (d.h. je größer die Zahl nach dem Vorzeichen), desto größer ist die Sättigung.

Farbabstände werden im CIE-Lab-System durch den  $\Delta E_{ab}$ -Wert nach DIN 6174 beschrieben [Baumann et al. 1994, Seghi et al. 1986]. Demzufolge lautet die Farbabstandsformel nach CIE  $L^*a^*b^*$ :  $\Delta E_{ab} = \sqrt{(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2}$  [Baumann et al. 1994]. Dabei ist zu beachten, dass  $\Delta L$  bei zahnfarbenen Materialien zumeist größere Werte als  $\Delta a$  oder  $\Delta b$  annimmt, und somit bestimmend für die Größe von  $\Delta E$  ist [ibid.].

Somit wird jede Farbe erstens durch ihre Helligkeit (d.h. Position auf L-Achse), zweitens durch ihren Farbton (i.e. Position auf der  $a$ - $b$ -Achse) und drittens durch die Farbintensität (also den Abstand der Unbunt-Achsen zueinander) beschrieben [Okubo et al. 1998].

Die Zahnfarben natürlicher Zähne finden sich nur in einem kleinen Segment von etwa 4,5% des gesamten Farbtonbereiches wieder [Hegenbarth 1992]. Natürliche Zähne sind sehr hell, der L-Wert schwankt zwischen 60 und 80 [Hegenbarth 1992]. Deren

Intensität ist recht schwach, also nahe der Unbuntachse. Die Farbtöne befinden sich im rötlich-gelben Bereich.

Aufbauend auf diese theoretischen Hintergründe sind von Swinson 1971 und Roll 1976 Colorimeter für zahnärztliche Materialien entwickelt und zum Patent angemeldet worden [Musil et al. 1983]. Das Gerät *Chomascan* der *Sterdent*, Ohio, USA, etablierte sich [Bangtson et al. 1982, Goodkind et al. 1985, Musil et al. 1983]. In der Literatur sind erste Studien mit diesem Farbmesser, welcher ursprünglich für die Textil-, Druck- und Farbenindustrie gedacht war, postuliert. Im Gegensatz zu diesen industriell benutzten Farbmessern ist es eine Herausforderung Geräte für die Zahnheilkunde zu entwickeln, wo die Farbnahme auf einen deutlich kleineren Bereich von wenigen mm<sup>2</sup> beschränkt ist [Baumann et al. 1994, Setz et al. 1992].

Diese Geräte basieren im Wesentlichen darauf, dass Licht einer bestimmten Wellenlänge auf die Oberfläche eines Objektes trifft und mit der gemessenen Remission des Lichtes durch das Farbobjekt mathematisch verknüpft wird [Goodkind et al. 1987, Ishikawa et al. 1969]. Die Erfassung der Remissionskurve, also dem Verhältnis aus reflektiertem zu eingestrahltm Licht in Bezug auf die Wellenlänge, ist die Hauptfunktion von Farbmessgeräten laut Faber et al. 1998.

Goodkind et al. berichteten 1985 ihrerseits über eine Studie, in der 100 extrahierte Zähne mit dem *Chromascan* Farbmesser gemessen wurden. Die extrahierten Zähne waren frei von Restaurationen, welche die Untersuchungsergebnisse beeinflussen könnten. Insgesamt 38 Zähne stammten von 15 männlichen Patienten und 62 von 23 Patientinnen. Um Austrocknungen zu vermeiden wurden die Zähne in einer Lösung aus 0,9% NaCl und Thymol aufbewahrt. Die Zähne wurden im inzisalen, mittleren und zervikalen Drittel vermessen, wobei die Messungen bei natürlichem Tageslicht durchgeführt wurden. Zusätzlich wurden 50 Zähne ausgewählt, die von drei erfahrenen Farbbestimmern mit Hilfe eines Spektrophotometers bestimmt wurden. Die Messungen mit diesem Spektrophotometer zeigten Abweichungen zwischen 6,6% und 11,4% von denjenigen Messungen mit dem *Chromascan* Farbmessgerät.

Das positive Ergebnis dieser Studie veranlasste Goodkind et al. (1987), eine in-vivo Studie durchzuführen, bei der 2830 Frontzähne des Ober- und Unterkiefers gemessen wurden. In diesen beiden Studien wurden folgende Aspekte berücksichtigt und untersucht: Farbe, Hue, Value, Chroma und Ort der Messung auf dem Zahn. Weiterhin wurden demographische Aspekte wie Zahnposition, Geschlecht, Alter, Haar- und Augenfarbe, sowie Geburtsort einbezogen. In der zweiten Studie sollte auf die Studie von 1985 Bezug genommen werden und die gewonnenen Ergebnisse der

Farbbestimmung an extrahierten Zähne mit den Ergebnissen der im Patientenmund gemessenen Zahnfarben verglichen werden. Es wurden vier baugleiche *Chromascan* Farbmesser benutzt, allerdings in modifizierter Form. Um die Messungen parallel zum Zahn durchführen zu können, wurde eine Haltevorrichtung an den Messkopf angebracht, mit der es ebenso möglich war in definierten zwei-mm-Schritten verschiedene Stellen der Zähne zu messen. Die Messungen wurden in der inzisalen, mittleren und zervikalen Region durchgeführt. Gemessen wurden die Probandenzähne 13, 12, 11, 41, 42 und 43, wobei jede Messung dreimal wiederholt wurde. Es wurden von 500 Probanden nur Zähne bestimmt, die frei von Karies und zahnärztlichen Manipulationen waren. Von den Probanden wurden Angaben über Geschlecht, Hautfarbe, Alter, Geburtsort, Haar- und Augenfarbe für spätere statistische Auswertungen erhoben. Ebenso wurden 60 Zähne von zwei verschiedenen im Umgang mit dem Farbmessgerät geschulten Zahnärzten gemessen, was keine signifikanten Unterschiede im Ergebnis mit sich brachte.

Das Gerät Nr. 3 der vier *Chromascan* Farbmessgeräte, mit dem 204 Zähne gemessen wurden, zeigte deutliche Diskrepanzen bezüglich Hue und Chroma im Gegensatz zu den drei anderen Messgeräten, weswegen diese Messwerte in der weiteren Auswertung keine Berücksichtigung fanden. Die übriggebliebenen Messungen ergaben, dass im inzisalen Bereich die Zahnfarbe gelblicher als im mittleren Bereich, die des zervikalen Bereiches etwas gelblich-rötlicher war. Die größte Helligkeit wurde im inzisalen Bereich gefunden, die Farbsättigung war im inzisalen und mittleren Bereich in etwa gleich, jedoch zervikal deutlich mehr gesättigt. Geschlechtsspezifisch konnte festgestellt werden, dass die Zähne der zu 56% weiblichen Probanden im Mittel etwas gelblicher, heller und weniger gesättigt waren, als die der männlichen.

Es konnten keine signifikanten Unterschiede bezüglich Haar- und Augenfarbe korrelierend zu den Farbmessungen an den Zähnen festgestellt werden. Statistisch gesehen waren die Zähne der außerhalb der USA geborenen Probanden im mittleren und zervikalen Bereich etwas gelblicher. Für den inzisalen Bereich gab es keine nennenswerten Unterschiede. Unterschiede waren aber bezüglich des Alters der Probanden feststellbar. Probanden über 35 Jahren haben demnach etwas dunklere, rötlichere und mehr gesättigte Zähne. Eine Ausnahme hiervon bildet der zervikale Zahnanteil, in dem die Farbe eher gelblicher erscheint. Auch Unterschiedlichkeiten zwischen Zähnen des Oberkiefers und Unterkiefers traten zu Tage. So wurden die Oberkieferzähne gelblicher als die Unterkieferzähne gemessen.

Eine Ausnahme bildete die mittlere Messfläche der oberen und unteren Eckzähne. So wurde an den Eckzähnen des Oberkiefers ein mehr rötlicher Farbanteil identifiziert. Im Ganzen waren die Eckzähne dunkler und gelblicher als die korrespondierenden Schneidezähne. Im Ergebnis stellten Goodkind et al. ebenso fest, dass vor allem der mittlere Zahnanteil die Zahnfarbe am besten darstellt. Die zervikalen und inzisalen Zahnanteile würden mehr von den umgebenden Zähnen beeinflusst werden. Goodkind et al. betonten, dass man die Farbveränderungen der Zähne durch das Alter und auch die geschlechtsspezifischen Unterschiede in zahnärztliche Restaurationen einfließen lassen sollte um gute Ergebnisse zu erzielen.

Der mittlere Bereich der Zahnoberfläche scheint nach Goodkind et al. (1987) der am besten geeignete Ort für eine Darstellung der Zahnfarbe zu sein. Daher wird für eine mögliche in-vivo-Anwendung der Differenzreflektometrie, also der maschinellen Zahnfarbbestimmung gefordert, Topographie und Anzahl der Messpunkte als entscheidende Parameter vorab festzulegen [Goodkind et al. 1987, Okubo et al. 1998]. Nur auf diese Art und Weise seien verwertbare Aussagen über Zahnfarben zu treffen [Schriever et al. 1993].

Im Jahre 1980 entwickelte *VEB Carl Zeiss Jena* das Farbmessgerät *FMG 80* mit dem Musil et al. (1983) einen Vergleich mit dem *Chromascan* Farbmessgerät herbeiführen wollten. Dieses Gerät gibt die Zahnfarbe in der CIE-Kodierung an. Im Ergebnis lieferte das Gerät *FMG 80* bei Messungen an *Vita-Lumin A*-Farben eine mit 0,86 nur halb so große Streuung wie Messungen mit dem *Chromascan* Farbmessgerät (1,97). Weiterhin untersuchten Musil et al. (1983) die Farbringe und die zugehörigen Kompositmaterialien der Firmen *Vita* und *Spofa-Dental* (Prag, ehemals CSSR). Nach diesen Untersuchungen wichen die Farben der Farbringe auffallend von den Materialfarben ab. So besitze der Farbring die größere Farbsättigung und sei in allen Fällen heller als das entsprechende Material gewesen.

Faber (1998) verglich die vier Farbmessgeräte *Castor* (*Sigma-Dental*, Jarplund-Weding), *MCS 500* (*Carl Zeiss Jena*, Jena, ehemals DDR), *Colorpen* und *Luci 100* (*Dr. Lange*, Berlin, BRD) auf Unterschiede in der Farbauswahl und Reproduzierbarkeit. Im Ergebnis konnte festgestellt werden, dass die metrisch ermittelten Farbunterschiede abhängig von der Messgeometrie der Geräte waren. Die Resultate der Farbmessung waren abhängig vom verwendeten Messgerät und daher sei ein Vergleich der Messwerte nur innerhalb eines Messgerätes erlaubt.

Faber forderte daher die Auswahl geeigneter Farbmessgeräte zur Durchführung von Grundlagenuntersuchungen.

Das Farbmessgerät *Castor* wurde in weiteren Untersuchungen als sehr gut in der Reproduzierbarkeit bewertet [Setz et al. 1992]. So wird berichtet, dass der durch *Castor* gemessene  $L^*a^*b^*$ - Wert eines Zahnes eines Farbring, der mehrfach an einer Stelle vermessen wurde, nur um unter 0,1 Punkte differierte. Setz et al. führten weiter aus, dass „Differenzen kleiner als 0,4 Punkte auch von speziell geschulten Fachkräften und unter optimalen Lichtverhältnissen nicht erkannt werden“. Die Messergebnisse seien laut der Untersuchung unabhängig von äußeren Lichteinflüssen gewesen. Lediglich starke, direkte Sonneneinstrahlung habe um etwa 0,4 Punkte beeinflusste Messergebnisse geliefert. Es wird weiterhin bemängelt, dass nach 24 Stunden Dauerbetrieb eine „Lampenalterung“ festgestellt wurde, die durch erneute Kalibrierung aber wieder in eine Region gut reproduzierbarer Messwerte gebracht werden konnte. Nicht als Messfehler werteten die Autoren die Tatsache, dass an ein und demselben Zahn –als Beispiel wird ein *Biodent* Musterzahn 21 angegeben– je nach Zahnregion unterschiedliche Zahnfarben gemessen wurden. In der Zahnmitte habe das Gerät die „korrekte“ Zahnfarbe vermeldet, Messungen an Zahnhals und Schneide des selben Musterzahnes hätten aber abweichende Zahnfarben ergeben. Setz et al. begründen diese gewonnene Erkenntnis in der Tatsache, dass Musterzähne einer Zahnfarbe aus vielen verschiedenen Zahnfarben bestünden.

Ebenso bestätigten Setz et al. die schon erwähnte Diskrepanz zwischen Zahnfarbringen unterschiedlicher Chargen und unterschiedlichem Produktionsdatum. Eine weitere Studie über das Farbmessgerät *Castor* wurde 1994 von Baumann et al. vorgestellt. In dieser Untersuchung sollte vor allem die Praxistauglichkeit dieses Systems erörtert werden. Laut Hersteller eigne sich dieses Gerät besonders gut für den alltäglichen Gebrauch, da die ermittelten Zahnfarben direkt in den Farbangaben der Farbskalen der meisten Hersteller dargeboten werden. Neben weiteren Untersuchungen wurde ein *Vita Lumin Vacuum* Farbring bezüglich der Farbe vermessen. Dabei wurde der *Vita* Farbring nach Herstellerangabe von hell nach dunkel angeordnet. Messungen mit dem *Castor* System ergaben im Anschluss eine differierende Helligkeitsverteilung. Vergleicht man die Anordnung von hell nach dunkel nach Herstellerangabe mit derjenigen Anordnung, die durch das *Castor* System ermittelt wurde, differierte die Position der Farben in der Helligkeitsreihe in 6 von 14 Fällen um  $\pm 1$ . Die restlichen 8 untersuchten Zahnfarben wichen noch



bedeutsamer um bis zu 7 Helligkeitsstufen in Richtung hellere oder dunklere Farben ab. Insgesamt waren nach dieser Untersuchung sieben Farben zu dunkel und 6 Farben zu hell. Die stärkste Abweichung zeigte die Farbe D2, die als 7 Positionen zu dunkel angegeben wurde. Diese Abweichungen waren teilweise auch mit bloßem Auge erkennbar. Die einzige Farbe bei der sich Messungen und Herstellerangaben deckten, war C4. Die Farbsättigung hingegen stimmte in großem Umfang mit den Herstellerangaben überein.

Okubo et al. führten 1998 eine Untersuchung sowohl zur konventionellen Zahnfarbbestimmung, als auch zur computerunterstützten instrumentellen Farbbestimmung durch. Zunächst sollten 31 Probanden (sieben Zahnärzte, sieben Zahntechniker und 17 Studenten der Zahnmedizin), die einen Farbsehtest im Vorfeld bestanden hatten, die Zahnfarben zweier *Vita-Lumin* Farbringe einander zuordnen. Die beiden Farbringe wurden vorher von vier Zahnärzten, bei denen ebenfalls keine Farbsehschwäche vorlag, ausgewählt und durch visuellen Farbvergleich der einzelnen Zahnfarben als äquivalent bezeichnet. Die Farbbezeichnungen der Farbringe wurden unkenntlich gemacht und die einzelnen Farben kodiert. Unter standardisierter Beleuchtung hatten die 31 Probanden unbegrenzte Zeit, die Farben der beiden Farbringe einander zuzuordnen. Die Anzahl der Fehlzusordnungen wurden dokumentiert. Zwei Monate später wurde ein Teil der Probanden ein weiteres Mal zu diesem Test unter den gleichen standardisierten Bedingungen herangezogen. Damit sollte geklärt werden, ob die Farbnahme unter diesen Bedingungen reproduzierbar ist.

Parallel zu diesem Versuch wurde das mittlere Drittel der beiden Farbringe maschinell vermessen. Dazu verwendeten Okubo et al. das computerunterstützte Farbmessgerät *Colortron II* (*Light Source Computer Images Inc.*, San Francisco). Um das mittlere Drittel der einzelnen Farbringplättchen zu treffen wurde eine Positionierhilfe aus Abformmaterial hergestellt. Jedes einzelne Plättchen des Farbringens wurde drei mal gemessen und die CIE-Koordinaten wurden notiert.

Die Auswertung der beiden Versuche ergab, dass im Mittel 48% der Farben von den Probanden korrekt zugeordnet wurden. Immerhin 95% der teilnehmenden Probanden hatten von 16 möglichen Zuordnungen nur zwischen 6,7 und 8,7 richtige Zuordnungen. Die zweimal getesteten Probanden hatten beim zweiten Test durchschnittlich 7,3 korrekte Zuordnungen. Statistisch konnten zwischen der ersten und zweiten Testreihe der Probanden keine signifikanten Unterschiede herausgearbeitet werden.

Das *Colortron II*-Gerät ordnete anhand der CIE-Lab-Koordinaten statistisch gesehen 8 von 16 Farben einander richtig zu (50%). Dieser Wert von 50% wurde auch bei allen Wiederholungsversuchen eindeutig ermittelt. Der Autor fasste zusammen, dass im Versuch des visuellen Farbvergleiches der Probanden 48% richtiger Zuordnungen ein Wert sei, der sich mit früheren Beobachtungen decke. Die 50%ige Deckung der Farben durch das *Colortron II*-Gerätes sei allerdings ein Wert, der den Einsatz des Gerätes zumindest in der jetzigen Form im zahnmedizinischen Bereich ausschliesse. Geräte neuerer Generationen geben die Zahnfarben direkt in den Kodierungen der Keramiksysteme an (z.B. *Vita classical*, *Vita 3D*, *Biodent* oder *Chromascop*). Diese Geräte sind relativ mobil, die erhobenen Daten werden an Bildschirmen angezeigt und lassen sich durch die mitgelieferte Software ausdrucken und bearbeiten. Diese Geräte sollen sowohl völlig unabhängig von äußeren Einflüssen arbeiten, farbsicher und leicht bedienbar sein, als auch die Kommunikation mit dem Zahntechniker vereinfachen [Das Internationale Zahntechnikermagazin 2001].

### **3.7. Zusammenfassung der Literatur**

Farbe wird als subjektive Sinneswahrnehmung von verschiedenen Betrachtern unterschiedlich wahrgenommen. Deswegen ist die herkömmliche Farbbestimmung mittels Farbringen risikobehaftet. Die bisher durchgeführten Studien attestieren dieser Methode der Farbbestimmung geringe Trefferwahrscheinlichkeiten. Weiterhin ist die Reproduzierbarkeit bei Verwendung von Farbringen niedrig. Untersucht wurden äußere Faktoren wie Licht- und Umgebungseinflüsse, die eine Farbnahme erschweren. Die mangelhaften Auswahlmöglichkeiten, die Material- und Herstellungsproblematik und nicht zuletzt die ungenügende Wiedergabe der drei Farbdimensionen Farbton, Farbhelligkeit und Farbintensität bei Verwendung von Farbringen wurden beleuchtet. Die Studien belegen zudem deutlich, dass auch ein erheblicher Anteil der Zahnmediziner, bzw. der bei der Farbbestimmung involvierten Personen unter Farbfehlsichtigkeiten leiden.

Aus den beschriebenen Problemen ergab sich die Notwendigkeit, eine besser reproduzierbare und verlässlichere Farbbestimmung zu etablieren. Daher wurde nach einer Möglichkeit der instrumentellen Farbbestimmung gesucht. Eine Reihe von Artikeln, die in den letzten Jahren erschienen, setzten sich mit der instrumentellen Farbbestimmung auseinander. Allerdings befassten sich die meisten Studien damit, Farbringe oder speziell hergestellte Farbplättchen mittels Farbbestimmungsgeräten

zu vermessen. Die Praxistauglichkeit dieser Geräte wurde jedoch weitgehend vernachlässigt. Aus diesen Gründen war es geboten, sich speziell auf die klinische Tauglichkeit eines Farbbestimmungsgerätes zu fokussieren. Es wurde in dieser Studie das Gerät *DSG 4* der Firma *Rieth* ausgewählt, da es ein Farbbestimmungsgerät neuester Generation darstellt. In der Literatur wurde bisher nur unzureichend von Untersuchungen zur Reproduzierbarkeit der gewonnenen Farbwerte dieser neuen Farbbestimmungsgeräte, insbesondere dem ausgewählten *DSG 4*, berichtet. Daher war es geboten, diese Fragestellung zu bearbeiten und die gewonnenen Ergebnisse unter besonderer Berücksichtigung der Reproduzierbarkeit zu untersuchen. Ein besonderes Augenmerk sollte dabei auch auf einen Vergleich zur herkömmlichen Farbbestimmung mittels Farbringen gelegt werden.

## 4. Ziel der Arbeit

Die Genauigkeit der Farbbestimmung stellt einen wichtigen Beitrag zur qualitativen und ästhetischen Verbesserung von zahnärztlich-prothetischen Restaurationen dar.

Da Untersuchungen fehlen, die sich mit der Reproduzierbarkeit der instrumentellen Farbbestimmung beschäftigen, wird in dieser Studie ein besonderes Augenmerk der Reproduzierbarkeit der Farbbestimmung mit dem instrumentellen Farbbestimmungsgerät *DSG 4* gewidmet. So soll geklärt werden, ob mit Hilfe eines solchen Gerätes die Qualität der Farbbestimmung verbessert werden kann.

Es soll im Einzelnen dargestellt werden, inwieweit die Reproduzierbarkeit der durch *DSG 4* bestimmten Zahnfarben im klinischen Alltag gewährleistet wird. In diesem Zusammenhang soll ebenfalls ein Vergleich zwischen der herkömmlichen Methode der Farbbestimmung mittels Farbringen und der neueren computerunterstützten Farbbestimmung stattfinden. Dabei soll herausgefunden werden, welche Methode die höchste Genauigkeit und Treffsicherheit bietet.

Ein weiterer wichtiger Aspekt ist es darzustellen, ob Verbesserungen im Hinblick auf die Genauigkeit der Farbbestimmung durch *DSG 4* im Gegensatz zur herkömmlichen Methode mittels Farbring nachweisbar sind.

Diese Fragestellungen sollen anhand dreier klinischer Versuche in dieser Studie geklärt werden.

## 5. Material und Methode

Zur Erreichung der oben genannten Studienziele wurden drei Versuchsserien durchgeführt. Um verlässliche Ergebnisse über die Genauigkeit der Farbmessungen des *DSG 4* zu erhalten, wurden in jeder Versuchsserie Messungen unter standardisierten Bedingungen durchgeführt. Die Ergebnisse wurden dokumentiert. Auf diese Weise sollte eine Antwort auf die Frage gesucht werden, ob *DSG 4* gleichmäßig reproduzierbare Messungen liefern kann. Ebenso wurde die herkömmliche Methode der Farbmessung mittels Farbringen mit den durch *DSG 4* gelieferten Messergebnissen verglichen. Folgende drei Versuchsserien wurden durchgeführt:

**Versuchsserie 1:** Farbmessung mit *DSG 4* an den Zähnen 21 zweier Probanden unter verschiedenen Lichteinflüssen

**Versuchsserie 2:** Farbmessung mit *DSG 4* an den Zähnen 21 zweier Probanden unter verschiedenen Lichteinflüssen und unter Zuhilfenahme einer „Bissschiene“

**Versuchsserie 3:** Bestimmung der Zahnfarbe an den Zähnen 21 zweier Probanden mittels Farbring und *DSG 4* durch 50 Untersucher

3a) Bestimmung der Zahnfarbe an den Zähnen 21 zweier Probanden mittels Farbring

3b) Bestimmung der Zahnfarbe an den Zähnen 21 zweier Probanden mittels *DSG 4*

Es wurde in allen drei Versuchen das Farbbestimmungsgerät *DSG 4* der Firma *Rieth* verwendet. Mit dessen Hilfe wurden Messungen an den Zähnen 21 zweier Probanden vorgenommen. Um verschiedene Umgebungseinflüsse zu simulieren wurde weiterhin eine Tageslichtlampe der Firma *Osram* (Modell *Lumilux*) nach DIN 5033, sowie die Behandlungsleuchte einer Behandlungseinheit der Firma *KaVo* verwendet. Die in Versuchsreihe 2 benutzte Bissschiene wurde aus *Palapress klar* der Firma *Heraeus Kulzer* hergestellt. Als Farbring für die Versuchsserie 3 wurde ein bis dato unbenutzter *Vitapan Classical* Farbring der Firma *Vita* herangezogen. Im folgenden sollen die Versuchsserien näher beschrieben werden.

**Versuchsserie 1:** Farbmessung mit *DSG 4* an den Zähnen 21 zweier Probanden unter verschiedenen Lichteinflüssen

An zwei Probanden wurden in drei Messserien jeweils 25 Messungen mit *DSG 4* vorgenommen. Nachdem eine professionelle Zahnreinigung erfolgte, wurde die labiale Mitte des Zahnes 21 der beiden Probanden bestimmt. Der *DSG 4* wurde bei dieser Versuchsserie jeweils nach fünf Messungen neu kalibriert. Die Messungen erfolgten I. unter natürlichem Tageslichteinfluss, II. unter Einfluss einer Tageslichtlampe nach DIN 5033 und III. unter dem Einfluss der Behandlungsleuchte. Alle Messungen fanden in der selben Behandlungseinheit der prothetischen Abteilung der Zahnklinik Giessen statt.

Gemäß der vom Hersteller angegebenen Bedienungshinweise wurde die Messsonde mit einem Tropfen Wasser benetzt und die Spitze der Messsonde im rechten Winkel auf dem Zahn des jeweiligen Probanden platziert.

Als Farbsystem, in dem die Messung stattfand, wurde in der Farbringmaske des *DSG 4* der Farbring *Vitapan Classical* der Firma *Vita* ausgewählt.



Abb. 5.1 *Digital Shade Guide DSG 4* der Firma *Rieth*

**Versuchsserie 2:** Farbmessung mit *DSG 4* an den Zähnen 21 zweier Probanden unter verschiedenen Lichteinflüssen und unter Zuhilfenahme einer „Bisschiene“

Die Versuchsserie 2 wurde wieder an den selben Zähnen 21 der beiden Probanden aus Versuchsserie 1 durchgeführt.

Für jeden Probanden wurde eine die Frontzähne des Oberkiefers bedeckende Schiene aus *Palapress klar* hergestellt. Diese wurde auf der zentralen Labialfläche des Zahnes 21 mit einem Loch versehen, in welchem die Messsondenspitze des *DSG 4* exakt passend eingebracht werden konnte.

Die Schiene ermöglicht folgendes:

- a) beliebig viele Messungen an exakt der gleichen Stelle des Zahnes durchzuführen,
- b) passgenaues Anliegen der Messsondenspitze am Zahn,
- c) Unverrückbarkeit der Messsondenspitze während des Auslösevorganges und schließlich
- d) Halten der erforderlichen Flüssigkeitsschicht (Flüssigkeitstropfen) an der Messsondenspitze.

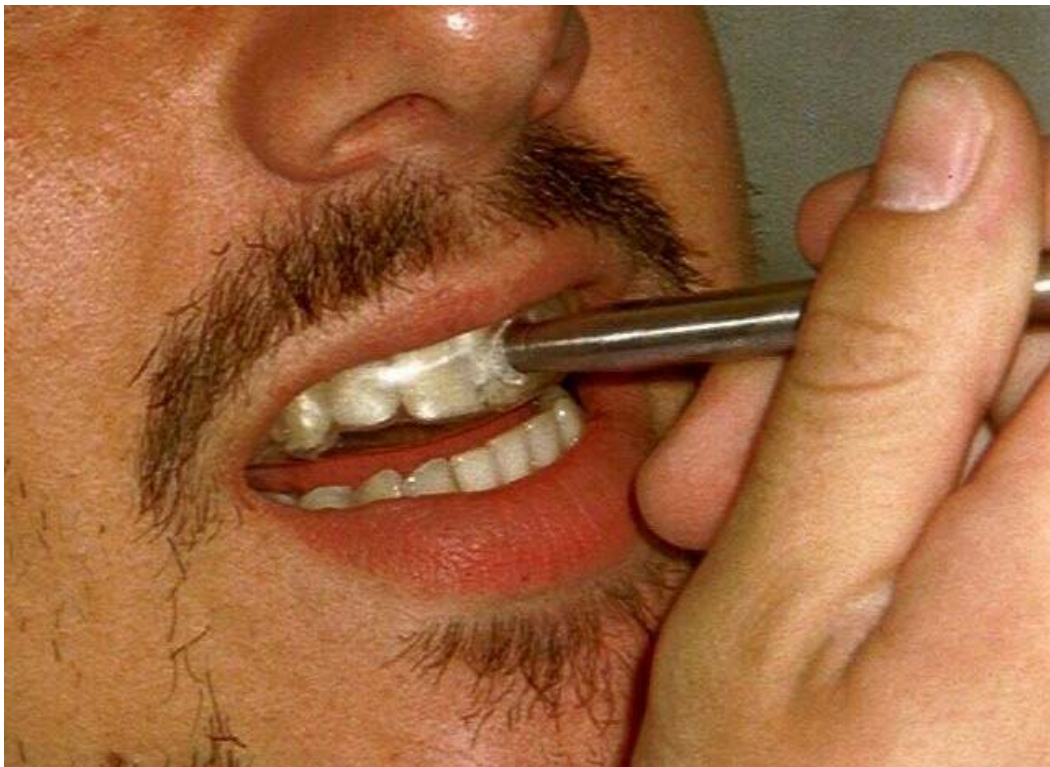


Abb. 5.2 Messanordnung in situ

Ziel dieser Versuchsreihe war es festzustellen, inwieweit gewonnene Ergebnisse durch *DSG 4* reproduzierbar sind, wenn exakt die gleiche Stelle eines Zahnes bestimmt wird. Ebenso sollte untersucht werden, ob *DSG 4* von äußeren Lichteinflüssen unabhängig ist, wie dies vom Hersteller angegeben wird.

Um einen Vergleich auch mit Versuchsserie 1 herstellen zu können, erfolgten die Messungen I. unter normalem Tageslichteinfluss in der Behandlungseinheit, II. unter Einfluss einer Tageslichtlampe nach DIN 5033 und III. unter dem Einfluss der Behandlungsleuchte.

Es wurden jeweils 25 Messungen vorgenommen, wobei nach jeder fünften Messauslösung die erneute Kalibrierung des *DSG 4* erfolgte.



**Versuchsserie 3:** Bestimmung der Zahnfarbe an den Zähnen 21 zweier Probanden mittels Farbring und *DSG 4* durch 50 Untersucher

Versuchsserie 3a) Bestimmung der Zahnfarbe an den Zähnen 21 zweier Probanden mittels Farbring

Mit einem neuen Farbring „*Vitapan Classical*“ bestimmten 50 Untersucher jeweils den Zahn 21 der beiden Probanden aus Versuchsserie 1 und 2. Bei Beiden ging im Vorfeld des Versuches eine professionelle Zahnreinigung voraus. Die farbbestimmenden Studienteilnehmer mussten sich, bevor sie die Farbbestimmung vornahmen, einer Farbtüchtigkeitsprüfung mit Hilfe von Ishihara-Tafeln unterziehen. Der verwendete *Vitapan-Classical* Farbring wurde so präpariert, dass der firmeneigene Farbcode (z.B. A3, B1, etc.) nicht ersichtlich war, sondern eine Kodierung von Nr. 1 bis Nr. 16 vorgenommen wurde. Die Farben waren in dem so präparierten Farbring nach dem Zufallsprinzip angeordnet. Die Untersucher wurden angewiesen lediglich eine Farbe auszuwählen und deren Kodenummer mitzuteilen. Für diese Aufgabe gab es keine zeitlichen Vorgaben.

Die Kodierung wurde wie folgt vorgenommen:

Kodierung	Farbe des <i>Vita</i> -Farbringes
Nr. 1	D 3
Nr. 2	B 2
Nr. 3	B 4
Nr. 4	D 2
Nr. 5	A 4
Nr. 6	C 1
Nr. 7	B 1
Nr. 8	A 1
Nr. 9	A 3
Nr. 10	C 2
Nr. 11	B 3
Nr. 12	A 3,5
Nr. 13	D 4
Nr. 14	C 3
Nr. 15	C 4
Nr. 16	A 2

Tabelle 5.1 Kodierung des *Vitapan-Classical* Farbringes

Von den 50 farbbestimmenden Studienteilnehmern waren 25 Personen weiblichen und 25 männlichen Geschlechts. Von diesen waren 35 Studenten der Zahnheilkunde an der Justus-Liebig-Universität in Giessen. Diese befanden sich im 8. und 9. Fachsemester und besuchten zu dieser Zeit die Kurse Prothetik I, bzw. II. Die restlichen Behandelnden teilten sich in sechs Zahnarzthelferinnen der Abteilung Prothetik, sowie in neun Zahnärzte und -innen auf.

Die Farbbestimmung erfolgte ausschließlich unter dem Lichteinfluss einer Tageslichtlampe nach DIN 5033 der Firma *Osram* und wurde immer in der gleichen Behandlungseinheit durchgeführt.

**Versuchsreihe 3b)** Bestimmung der Zahnfarbe an den Zähnen 21 zweier Probanden mittels *DSG 4*

Die 50 Untersucher aus Versuchsreihe 3a) wurden im direkten Anschluss an die manuelle Farbbestimmung mittels Farbring gebeten, die Farbbestimmung an den gleichen Zähnen der beiden Probanden mit Hilfe von *DSG 4* vorzunehmen. Sie wurden über die Funktionsweise und Messmethodik von *DSG 4* aufgeklärt und dahingehend instruiert, an den entsprechenden Zähnen die Mitte der Labialflächen zu messen.

An jedem Zahn sollten fünf Messungen vorgenommen werden, die von einem erfahrenen *DSG 4*-Benutzer überwacht wurden. Die Kalibrierung wurde nach jedem Benutzer erneut durchgeführt. Auch hier fanden die Messungen unter den gleichen Umgebungsbedingungen wie auch schon in Teil a) dieser Versuchsreihe statt.

Die Messergebnisse wurden dokumentiert.

## 6. Statistische Analyse

### 6.1 Fallzahlplanung

Da die Erkennung statistisch signifikanter Unterschiede zwischen den Messungen von der Streuung der Messergebnisse abhängt, wurden in den Versuchsserien 1 und 2 jeweils 25 Messungen unter den drei verschiedenen Lichteinflüssen durchgeführt. Es ist davon auszugehen, dass anhand einer solchen Anzahl von Messungen die Reproduzierbarkeit der Ergebnisse ausreichend gut beurteilt werden kann. Da nach Ansicht und Überprüfung der erhaltenen Messergebnisse davon ausgegangen werden konnte, dass eine Steigerung der Messungen unter den gleichen Rahmenbedingungen zu keinen prinzipiell andersartigen Ergebnissen führen würde, wurde auf eine Aufstockung der Messungen verzichtet.

In der Versuchsserie 3 wurde von 50 Untersuchern an zwei Zähnen 21 zweier Probanden die Farbe bestimmt. Diese 50 Untersucher führten die Farbbestimmung zunächst herkömmlich mit einem Farbring und anschließend mit *DSG 4* durch. Da in vergleichbaren Untersuchungen ebenfalls mit einem ähnlich großen Kollektiv an Studienteilnehmern gearbeitet wurde, war davon auszugehen, dass aussagekräftige Resultate erzielt werden können. Die farbbestimmenden Studienteilnehmer teilten sich in gleich viele weibliche und männliche Farbbestimmende auf. Ebenso wurden sie nach ihrer Gruppenzugehörigkeit in die Gruppen Studenten (8. und 9. Semester), Zahnarthelferinnen und Zahnärzte kategorisiert. Nach Durchführung der Versuchsserie und Ansicht der erhobenen Daten konnte davon ausgegangen werden, dass eine Erhöhung der Anzahl an Farbbestimmenden weder eine signifikante Änderung der Ergebnisstruktur, noch der Streuung der gemessenen Farben ergeben würde. Auch eine Aufstockung in Anbetracht der Studienteilnehmerzahl je Gruppe schien klinisch irrelevant, da auch dennoch möglichen Abweichungen in der Farbbestimmung durch Aufstockung der Teilnehmerzahl keine Bedeutung mehr zugekommen wäre.

## 6.2. Statistische Methoden

Die erhobenen Daten, die von der EDV des *DSG 4* erfasst wurden, sowie die von den Farbbestimmern angegebenen, kodierten Farben aus Versuchsserie 3a) wurden zunächst deskriptiv in Tabellenform festgehalten. Dazu wurde das Programm *Microsoft Word 2000* verwendet. Die statistische Bearbeitung erfolgte ausnahmslos mit Personal Computern unter Zuhilfenahme des Programms *SPSS für Windows* (Release 10.0.7). Zur besseren Übersicht wurden die Graphiken im Anschluss durch *Microsoft Excel* erstellt.

Da bei allen Versuchsserien von einer Normalverteilung der erhaltenen Messergebnisse ausgegangen werden konnte, wurden in Versuchsserie 1 und 2 zunächst die Mittelwerte der Messungen unter den jeweiligen Umgebungseinflüssen miteinander verglichen. Die Messergebnisse wurden in Form von Balkendiagrammen und in Tabellenform dargestellt. Die Mittelwerte für die einzelnen gemessenen Farben wurden sowohl unabhängig, als auch in Abhängigkeit der Umgebungseinflüsse aufgeführt.

In Versuchsserie 3 wurde ebenfalls auf Balkendiagramme zurückgegriffen. Zur besseren Übersicht wurden zusätzlich Tabellen aufgeführt, die wiederum die Mittelwerte der gemessenen Farben -auf herkömmlich bestimmtem Wege als auch durch *DSG 4* gemessen- veranschaulichen. Weiterhin wurde Bezug auf Geschlecht und Gruppenzugehörigkeit der Studienteilnehmer in weiteren Balkendiagrammen und Tabellen genommen. Die Auswertung dieser Versuchsserie sollte darüber hinaus ein Maß für die interindividuelle Übereinstimmung der Studienteilnehmer bei der Farbnahme enthalten. Dadurch wird es möglich, Unterschiede in der Farbnahme zwischen männlichen und weiblichen Untersuchern zu vergleichen. Weiterhin sind auf diese Weise Unterschiede im Hinblick auf die Methodik der Farbbestimmung (Zuhilfenahme eines Farbringens zur Farbbestimmung oder Farbbestimmung durch *DSG 4*) auszumachen. Als Maß für die interindividuelle Übereinstimmung wurde mithilfe des Statistik-Programms *SPSS für Windows* der *Cohen-Kappa-Koeffizient* errechnet. Dieser Koeffizient misst die Übereinstimmung zwischen den Beurteilungen zweier Farbbestimmer -respektive zweier Farbbestimmerkollektive- wenn beide dasselbe Objekt bewerten. Ein ermittelter Wert für den *Cohen-Kappa-Koeffizienten* von Eins bedeutet eine völlige Übereinstimmung in den Beurteilungen der beiden Farbbestimmer, ein Wert von Null bedeutet, dass die Übereinstimmung nicht über das zufallsbedingte Maß hinausreicht.

## 7. Ergebnisse

### 7.1. Versuchsserie 1 - Farbmessung mit *DSG 4* an den Zähnen 21 zweier Probanden unter verschiedenen Lichteinflüssen

An zwei Probanden (Proband A und Proband B) wurde von einem Farbnehmer der Zahn 21 bestimmt. Es wurden jeweils 25 Messungen unter den drei Beleuchtungsverhältnissen (1) natürliches Tageslicht, (2) unter Zuhilfenahme einer Tageslichtlampe und (3) unter dem Einfluss der Behandlungsleuchte durchgeführt.

Die an den Zähnen durch die Messsonde des *DSG 4* gemessenen Farben, bzw. Farbanteile wurden anhand des Messprotokolls des *DSG 4* und dessen Softwareversion 1.5.5 auf dem Monitor des benutzten Personal Computers in der Ausgabemaske der *DSG 4* Software dargestellt.

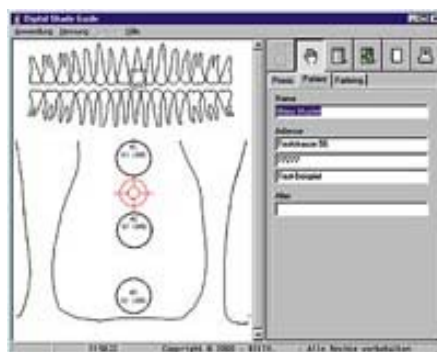


Abb.7.1.1 Ausgabemaske der *DSG 4* Softwareversion 1.5.5

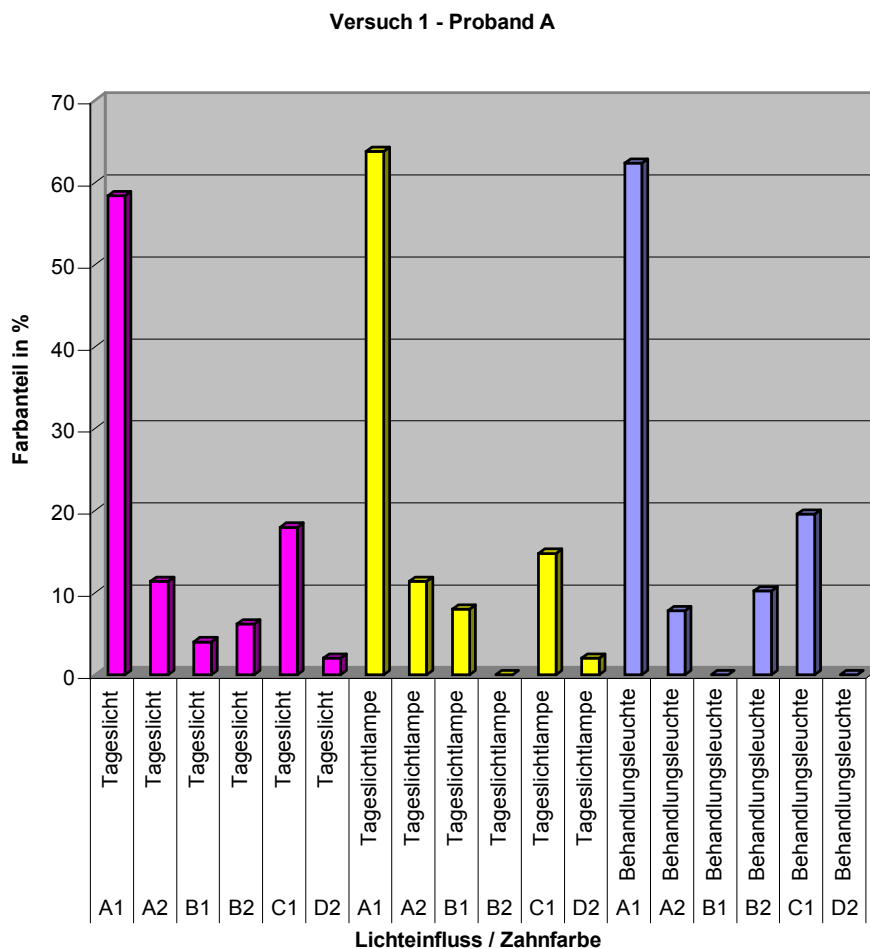
Die Messwerte wurden abgelesen und manuell in Tabellenform erfasst.

Im Anschluss an die Messungen wurden die erhobenen Daten mit dem Statistikprogramm *SPSS* bearbeitet. Zur besseren Übersicht wurden die *SPSS* Daten in Diagrammen erfasst, die mit dem Programm *Microsoft Excel* erarbeitet wurden. Da die Software des *DSG 4* bei einer Messung auch Mischfarben, wie beispielsweise 75% A1 und 25% B1 angibt, wurden in den Statistiken beide Werte mit ihren jeweiligen prozentualen Anteilen berücksichtigt. Die erhobenen Daten sind daher so zu interpretieren, dass ein statistisch erhobener Wert in Prozent für eine Zahnfarbe denjenigen Anteil dieser Farbe an der Gesamtfarbe des Zahnes angibt.

Die Darstellung der gewonnenen Resultate in Balkendiagrammen zeigt deutlich, dass bei jedem Probanden bevorzugte Werte auftraten.

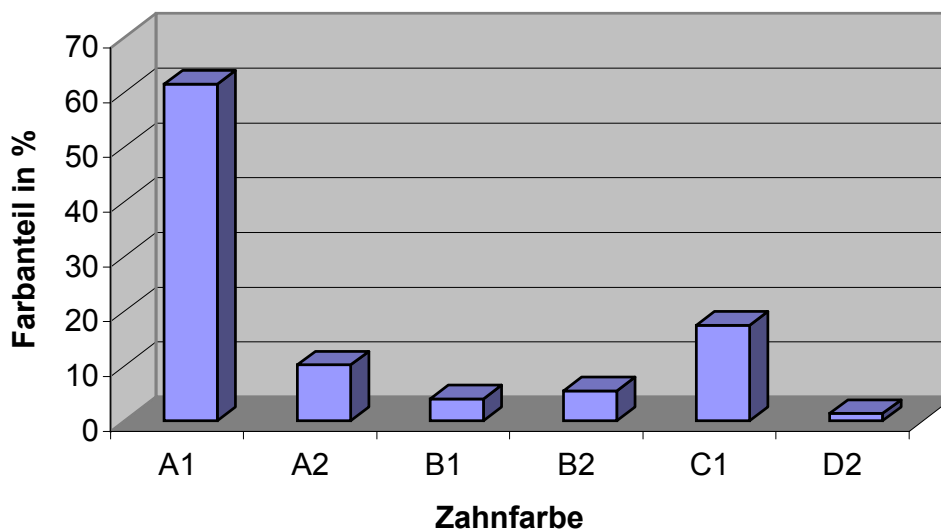
Ebenso ist erkennbar, dass sich verschiedene Lichteinflüsse aus der Umgebung geringgradig in den Ergebnissen niederschlagen.

Die Messungen ergeben für den Zahn 21 des Probanden A einen mehrheitlichen Farbanteil der Farbe A1 der *Vita*-Farbpalette. Er beläuft sich mittelwertig bei normalem Tageslicht auf 58,4%, bei Verwendung einer Tageslichtlampe auf 63,8% und bei eingeschalteter Behandlungsleuchte auf 62,4%. Gemittelt über alle drei Lichtsituationen ergibt dies einen Wert von 61,5%.



Graphik 7.1.1 Durch *DSG 4* gemessene Farbanteile in % unter den Lichteinflüssen natürliches Tageslicht, Tageslichtlampe und Behandlungsleuchte an Proband A

### Versuch 1 - Proband A



Graphik 7.1.2 Durch *DSG 4* gemessene Farbanteile in % unabhängig von äußeren Lichteinflüssen an Proband A

Als zweithäufigste Farbe wurde C1 angegeben. Hierbei beliefen sich die Werte unter normalem Tageslichteinfluss auf 18%, bei Verwendung einer Tageslichtlampe auf 14,8%. Wurde als Lichtquelle die Behandlungsleuchte benutzt, wurden 19,6% gemessen. Im Mittel ergab die Messung 17,5% für C1.

An diesen Daten ist zu erkennen, dass *DSG 4* für den Schneidezahn des Probanden A eine Mischung von Mehrheitlich A1 mit einer Beimischung von C1 etwa im Verhältnis  $\frac{3}{4}$  A1 zu  $\frac{1}{4}$  C1 angibt.

Die an dritter Stelle rangierende Farbe A2 wurde mit einem Farbanteil von 11,4% unter natürlichem Tageslicht und unter Verwendung einer Tageslichtlampe, sowie mit 7,8% unter dem Einfluss der Behandlungsleuchte angegeben. Bei Vernachlässigung der Lichtsituation ergab dies einen Anteil von 10,2%. Die Farbe B2 wurde mit einem Anteil von 10,2% unter dem Einfluss der Behandlungsleuchte und zu 6,2% unter natürlichem Tageslicht ausgemacht. Bei Verwendung der Tageslichtlampe wurde die Farbe nicht gemessen, so dass sich ein über alle Beleuchtungssituationen gemittelter Wert von etwa 5,47% ausmachen lässt. Anteile der Farbe B1 wurden zu 8% bei Verwendung der Tageslichtlampe und zu 4% unter natürlichem Tageslichteinfluss gemessen, unter dem Licht der Behandlungsleuchte wurde diese Farbe jedoch nicht registriert. Der Farbanteil B1 lag unabhängig äußerer Lichteinflüsse bei 4%. Vernachlässigbar kleine Farbanteile wurden von der Farbe D2 durch *DSG 4*

gemessen. Wurde der Probandenzahn mit natürlichem Tageslicht, bzw. der Tageslichtlampe beleuchtet, wurde ein mittlerer Farbanteil von 2% gemessen. Bei Verwendung der Behandlungsleuchte ergab keine Messung diese Farbe. Über alle drei Lichtsituationen verteilt wurde demnach der Farbanteil D2 zu 1,33% im Mittel gemessen.

Im Ergebnis dieser Messreihe wird ersichtlich, dass *DSG 4* eine deutliche Farbvorgabe in Form einer Verteilung der Farbanteile auf die zwei Hauptkomponenten A1 und C1 gibt. Die Werte ähneln sich in allen drei Beleuchtungssituationen, so dass man von einer lichtunabhängigen Farberhebung durch *DSG 4* sprechen kann. Eine Ausnahmestellung nimmt allerdings die Beleuchtungssituation „Behandlungsleuchte“ ein. In diesem Falle rangierte an dritter Stelle der Farbanteile die Farbe B2, die in den anderen Beleuchtungssituationen nicht in diesem Ausmaß zu Tage trat. Der ansonsten an dieser Stelle gemessene Farbanteil der Farbe A2 fiel bei Verwendung der Behandlungsleuchte um 3,6% geringer aus. In den weiteren Versuchen soll nun geklärt werden, ob durch Verwendung der Behandlungsleuchte tatsächlich andere Farbanteile gemessen werden, oder ob diese Beobachtung nicht über das zufallsbedingte Maß hinausreicht.

Als weitere interessante Beobachtung konnte in dieser Versuchsreihe herausgestellt werden, dass *DSG 4* für den Probanden A nur Helligkeitswerte der Helligkeitsstufen 1 und 2 angegeben hat.

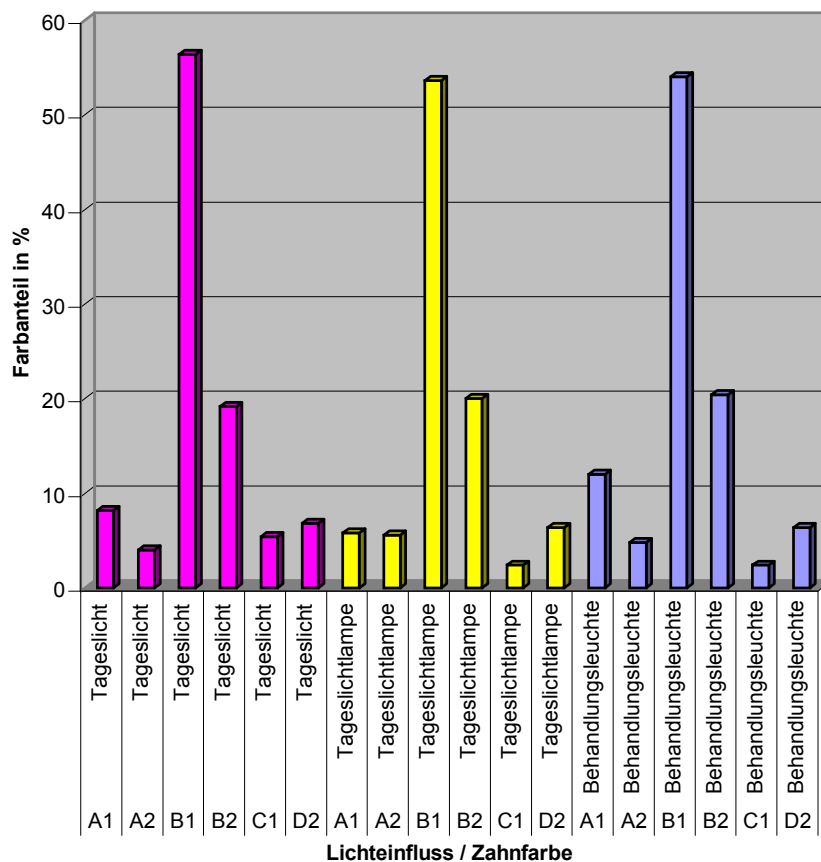


Bericht Proband A							
Lichteinfluss		A1	A2	B1	B2	C1	D2
natürliches Tageslicht	Mittelwert	,5840	,1140	4,000E-02	6,200E-02	,1800	2,000E-02
	N	25	25	25	25	25	25
	Standardabweichung	,3815	,1598	,2000	,2147	,3298	1,000E-01
Tageslichtlampe	Mittelwert	,6380	,1140	8,000E-02	,0000	,1480	2,000E-02
	N	25	25	25	25	25	25
	Standardabweichung	,3583	,1263	,2769	,0000	,3043	1,000E-01
Behandlungsleuchte	Mittelwert	,6240	7,800E-02	,0000	,1020	,1960	,0000
	N	25	25	25	25	25	25
	Standardabweichung	,3649	,1182	,0000	,2519	,3611	,0000
insgesamt	Mittelwert	,6153	,1020	4,000E-02	5,467E-02	,1747	1,333E-02
	N	75	75	75	75	75	75
	Standardabweichung	,3641	,1352	,1973	,1932	,3286	8,110E-02

Tabelle 7.1.1 Durch *DSG 4* gemessene Farbanteile in Prozentsätzen unter verschiedenen Lichteinflüssen an Proband A

Die Messwerte des Probanden B ergaben ein ähnliches Bild. Die dominierende Farbe ist hier B1 mit einem durchschnittlichen Anteil von etwa 54,7% an der Farbverteilung. Der Wert für B1 lag bei normalem Tageslicht bei 56,4%, bei Verwendung der Tageslichtlampe bei 53,6% und unter dem Einfluss der Behandlungsleuchte bei 54,0%.

## Versuch 1 - Proband B



Graphik 7.1.3 Durch *DSG 4* gemessene Farbanteile in % unter den Lichteinflüssen natürliches Tageslicht, Tageslichtlampe und Behandlungsleuchte an Proband B

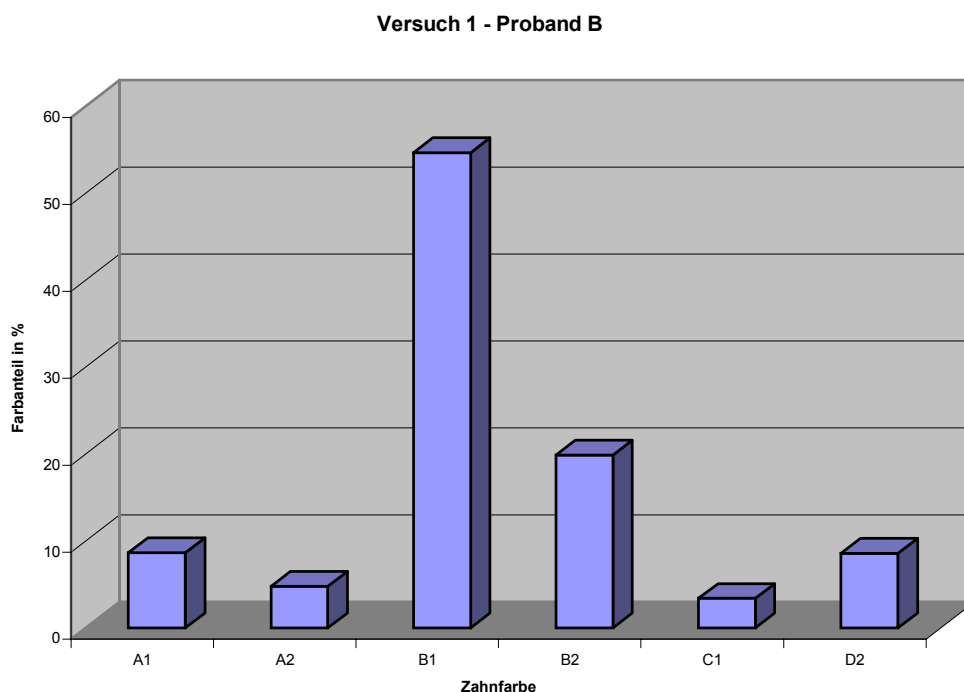
Als zweithäufigster Wert etablierte sich die Farbe B2. Hier lagen die Werte unter normalem Tageslicht bei 19,2%, unter Einfluss der Tageslichtlampe bei 20,0% und bei Verwendung der Behandlungsleuchte belief sich der Wert auf 20,4% an der Farbverteilung. Im Durchschnitt kam B2 bei allen Lichteinflüssen auf etwa 19,9% Farbanteil.

Somit wird durch das Messgerät auch hier wieder eine Mischfarbe von B1 und B2 vorgeschlagen. Das Mischungsverhältnis wird in etwa in drei Teilen B1 zu einem Teil B2 angegeben.

An dritter Stelle rangierte die Farbe A1 mit 12% Farbanteil bei Messungen unter dem Einfluss der Behandlungsleuchte, 8,2% Farbanteil bei Messungen mit natürlichem Tageslicht und 5,8% bei Verwendung der Tageslichtlampe. Insgesamt macht die Farbe A1 damit einen Anteil von etwa 8,67% an der gesamten Farbverteilung aus. Die Farbe D2 wurde bei Proband B insgesamt zu 8,6% bestimmt, wobei unter Einfluss der Tageslichtlampe 12,6%, unter natürlichem Tageslicht 6,8% und unter

dem Licht der Behandlungsleuchte 6,4% Farbanteil dieser Farbe gemessen wurden. Farbanteile der Farbe A2 wurden zu 5,6% unter dem Licht der Tageslichtlampe, zu 4,8% unter dem der Behandlungsleuchte und zu 4% unter natürlichem Tageslicht registriert. Über alle drei Lichtsituationen verteilt kam damit A2 auf 4,8% Farbanteil. Geringe prozentuale Farbanteile entfielen weiterhin auf die Farbe C1 mit 5,4% unter natürlichem Tageslicht und jeweils 2,4% unter den Beleuchtungsbedingungen Tageslichtlampe und Behandlungsleuchte. Insgesamt ergab sich somit für C1 ein Farbanteil von 3,4%.

Die Zahnfarbbestimmung des Probanden B ließ keine signifikanten Änderungen in der Farbbestimmung des *DSG 4* beobachten, die durch die unterschiedlichen Beleuchtungssituationen entstanden sein könnten. Die gemessenen Farbanteile waren während aller drei Beleuchtungssituationen recht homogen. Abweichungen der bestimmten Farbanteile der drei mit dem größten Anteil gemessenen Zahnfarben B1, B2 und A1 waren mit maximal  $\pm 2,87\%$  hierbei deutlich geringfügig. Auch in den Messungen des Zahnes 21 des Probanden B wurden nur Zahnfarben mit den Helligkeitswerten 1 und 2 der *Vita*-Farbpalette durch *DSG 4* angegeben.



Graphik 7.1.4 Durch *DSG 4* gemessene Farbanteile in % unabhängig von äußeren Lichteinflüssen an Proband B

Bericht Proband B							
Lichteinfluss		A1	A2	B1	B2	C1	D2
natürliches Tageslicht	Mittelwert	8,200E-02	4,000E-02	,5640	,1920	5,400E-02	6,800E-02
	N	25	25	25	25	25	25
	Standardabweichung	,2254	,1561	,4281	,3587	,1881	,1658
Tageslichtlampe	Mittelwert	5,800E-02	5,600E-02	,5360	,2000	2,400E-02	,1260
	N	25	25	25	25	25	25
	Standardabweichung	,2159	,2123	,4915	,4082	,1200	,2948
Behandlungsleuchte	Mittelwert	,1200	4,800E-02	,5400	,2040	2,400E-02	6,400E-02
	N	25	25	25	25	25	25
	Standardabweichung	,3317	,1686	,4364	,3685	,1200	,1686
insgesamt	Mittelwert	8,667E-02	4,800E-02	,5467	,1987	3,400E-02	8,600E-02
	N	75	75	75	75	75	75
	Standardabweichung	,2606	,1783	,4469	,3740	,1450	,2171

Tabelle 7.1.2 Durch *DSG 4* gemessene Farbanteile in Prozentsätzen unter verschiedenen Lichteinflüssen an Proband B

Die Ergebnisse dieser Versuchsserie ergaben, dass *DSG 4* bei jedem einzelnen Probanden überwiegend ähnliche Ergebnisse angibt. Jedoch sind diese Ergebnisse nicht eindeutig genug, um von einer entsprechend hohen Treffsicherheit und Reproduzierbarkeit der Farbwahl des *DSG 4* sprechen zu können. So wurde bei beiden Probanden eine deutliche Präferenz sichtbar. Jedoch sind neben der als größtem Farbanteil geltenden Farbe zwei weitere zahlenmäßig nicht zu unterschätzende Farbanteile bestimmt worden. Für den Einsatz in der täglichen Praxis bedeutet dies, dass durch *DSG 4* zwar ein deutlicher Anhaltspunkt für die Gestaltung einer zahnärztlichen Restauration gegeben wird, das Gerät aber eine konkrete Farbvorgabe vermissen lässt.

Anhand der erhobenen Daten lässt sich weiterhin ableiten, dass die teilweise abweichenden Farbangaben höchstwahrscheinlich nicht nur aus der veränderten Beleuchtungssituation resultieren. Ein Grund für die nicht eindeutige Farbwahl des *DSG 4* könnte im Aufbau des natürlichen Zahnes liegen. Ein Zahn hat bekanntermaßen keine einheitliche Farbverteilung über die gesamte Oberfläche. So könnte eine gemessene Farbabweichung ihren Grund in minimalen Versetzungen

der Messsondenspitze bei der Farbnahme am Zahn haben. Um diesen Sachverhalt näher zu beleuchten wurde daher die Versuchsserie 2 angesetzt. In dieser Versuchsserie wird durch eine Bisschiene eine exakte und unverrückbare Position der Messsondenspitze am Zahn gewährleistet, um das erwähnte Problem auszuschalten.

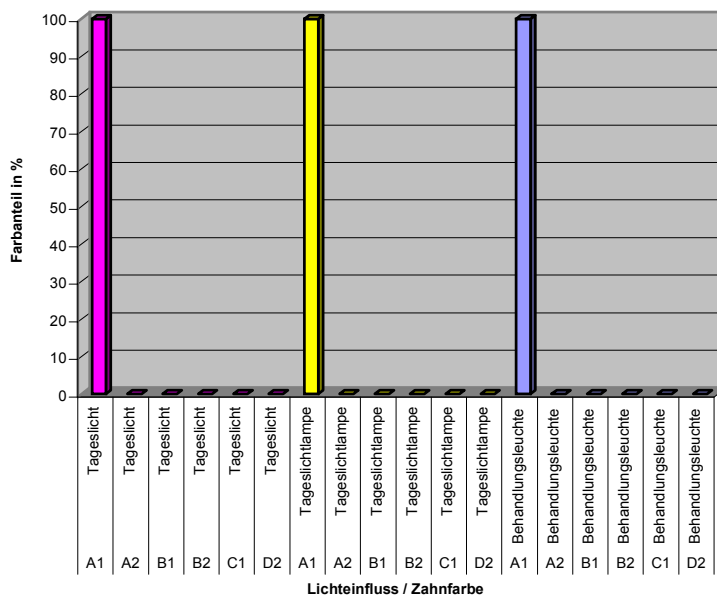
**7.2. Versuchsserie 2 –** Farbmessung mit *DSG 4* an den Zähnen 21 zweier Probanden unter verschiedenen Lichteinflüssen und unter Zuhilfenahme einer „Bissschiene“

In dieser Versuchsserie wurde auf die beiden Probanden aus Versuchsserie 1 zurückgegriffen. Es wurden der Versuchsaufbau und die Umgebungseinflüsse natürliches Tageslicht, Tageslichtlampe und Behandlungsleuchte unverändert übernommen. Lediglich wurde eine individuell angefertigte Bissschiene für jeden Probanden hinzugenommen, die eine unverrückbare Position der *DSG 4* Messsondenspitze an den Zähnen 21 der Probanden A und B gewährleistet.

Die durch *DSG 4* gemessenen Zahnfarbanteile wurden auch in diesem Versuch auf dem Bildschirm des an das Messgerät angeschlossenen Personal Computers dargestellt. Auch hier wurden die einzelnen Ergebniswerte dokumentiert und im Anschluss daran in einer *Word* Tabelle erfasst. Die Messungen wurden mit dem Statistik-Programm *SPSS* ausgewertet und die Graphiken zur besseren Übersicht mit dem Programm *Microsoft Excel* erstellt.

Um die Ergebnisse zu veranschaulichen wurden die gewonnenen Werte dieser Versuchsserie in Form von Balkendiagrammen dargestellt. Es ist deutlich sichtbar, dass den gemessenen Zähnen durch *DSG 4* bestimmte Farben mit großer Deutlichkeit zugeordnet wurden. Die verschiedenen Umgebungseinflüsse in Form von gewöhnlichem Tageslicht, Licht der Tageslichtlampe und der Behandlungsleuchte spielten keine, oder gegebenenfalls nur eine untergeordnete Rolle.

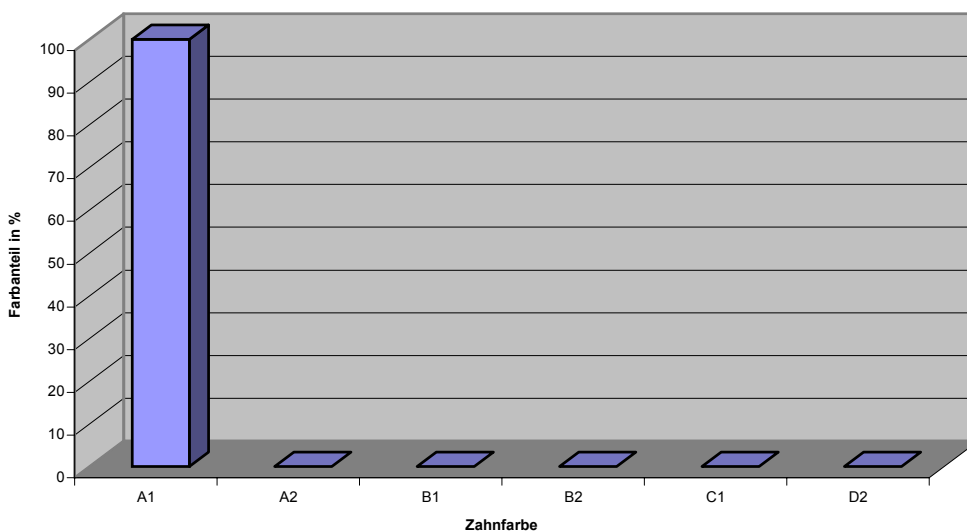
Versuch 2 - Proband A



Graphik 7.2.1 Durch *DSG 4* gemessene Farbanteile in % unter den Lichteinflüssen natürliches Tageslicht, Tageslichtlampe und Behandlungsleuchte an Proband A bei Verwendung einer Bisschiene

Die Farbmessung ergibt für Proband A und dessen Zahn 21 ein eindeutiges Ergebnis. *DSG 4* zeigte in 100% der Fälle -unabhängig von den gewählten Umgebungseinflüssen- die Farbe A1 der *Vita*-Farbpalette.

Versuch 2 - Proband A

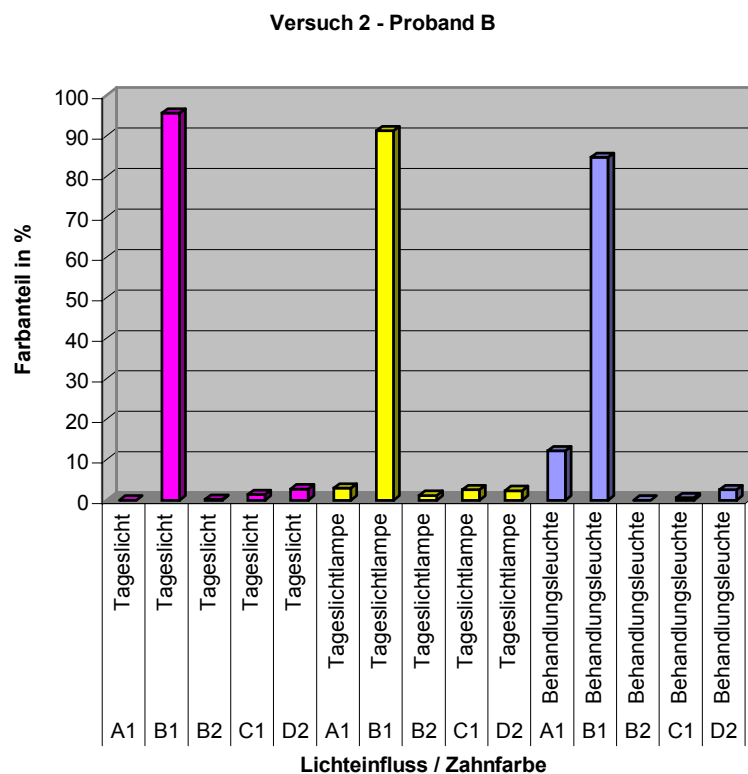


Graphik 7.2.2 Durch *DSG 4* gemessene Farbanteile in % unabhängig von äußeren Lichteinflüssen an Proband A bei Verwendung einer Bisschiene

Bericht Proband A A1			
Lichteinfluss	Mittelwert	N	Standardabweichung
normales Tageslicht	1,0000	25	,0000
Tageslichtlampe	1,0000	25	,0000
Behandlungsleuchte	1,0000	25	,0000
insgesamt	1,0000	75	,0000

Tabelle 7.2.1 Durch *DSG 4* gemessene Farbanteile in Prozentsätzen unter verschiedenen Lichteinflüssen an Proband A bei Verwendung einer Bisschiene

Die an Zahn 21 gemessenen Werte des Probanden B sind den oben erwähnten sehr ähnlich. Der vorwiegend gemessene Farbton ist B1 der *Vita* -Farbpalette. Insgesamt beläuft sich der B1-Anteil auf 90,47%. Bei normalem Tageslicht entfielen 95,6%, bei Verwendung der Tageslichtlampe 91,2% und unter Einfluss der Behandlungsleuchte 84,6% auf B1.



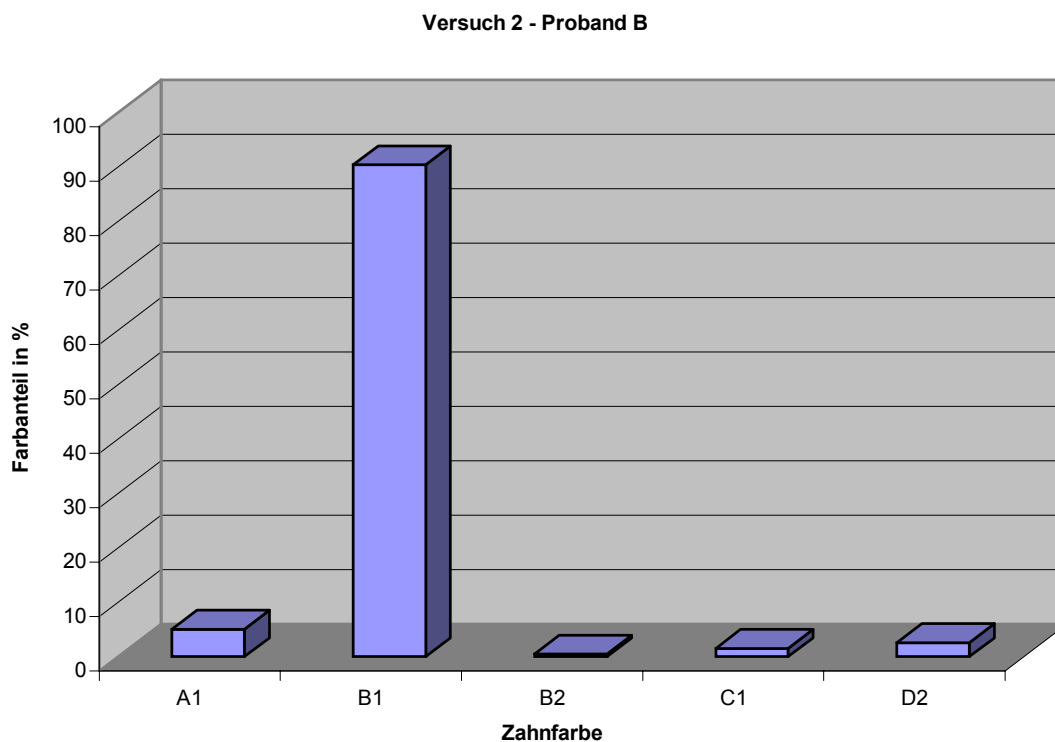
Graphik 7.2.3 Durch *DSG 4* gemessene Farbanteile in % unter den Lichteinflüssen natürliches Tageslicht, Tageslichtlampe und Behandlungsleuchte an Proband B bei Verwendung einer Bisschiene



Allerdings entfielen unter dem Einfluss der Behandlungsleuchte 12,2% des Farbanteils auf A1, unter dem Einfluss der Tageslichtlampe nur 3% und unter natürlichem Tageslicht wurde dieser Farbanteil nicht gemessen. Insgesamt rangiert die Farbe A1 damit über alle drei Lichtsituationen verteilt mit einem Anteil von etwa 5,07% an zweiter Stelle.

Eine weitere angegebene Farbe war D2 mit insgesamt 2,6% Farbanteil, wobei 2,8% unter natürlichem Tageslicht, 2,6% unter dem Einfluss der Behandlungsleuchte und 2,4% unter dem der Tageslichtlampe registriert wurden. Nahezu vernachlässigbar sind die gemessenen Farben C1 und B2 mit ihren geringen Farbanteilen. Insgesamt führten die Messauslösungen zu etwa 1,53% Farbanteil C1 (Tageslichtlampe 2,6%, natürliches Tageslicht 1,4%, Behandlungsleuchte 0,6%) und etwa 0,47% B2 (Tageslichtlampe 1,2%, natürliches Tageslicht 0,2%, Behandlungsleuchte 0%).

Bei Proband B wird daher kein reiner Farbton angegeben, vielmehr eine Mischung aus überwiegend B1 mit einer geringen Beimischung A1.



Graphik 7.2.4 Durch *DSG 4* gemessene Farbanteile in % unabhängig von äußeren Lichteinflüssen an Proband B bei Verwendung einer Bisschiene

Bericht Proband B						
Lichteinfluss		A1	B1	B2	C1	D2
natürliches Tageslicht	Mittelwert	,0000	,9560	2,000E-03	1,400E-02	2,800E-02
	N	25	25	25	25	25
	Standardabweichung	,0000	5,462E-02	1,000E-02	3,069E-02	5,416E-02
Tageslichtlampe	Mittelwert	3,000E-02	,9120	1,200E-02	2,600E-02	2,400E-02
	N	25	25	25	25	25
	Standardabweichung	,1061	,1111	4,153E-02	5,025E-02	5,795E-02
Behandlungsleuchte	Mittelwert	,1220	,8460	,0000	6,000E-03	2,600E-02
	N	25	25	25	25	25
	Standardabweichung	,1948	,1820	,0000	1,658E-02	5,795E-02
insgesamt	Mittelwert	5,067E-02	,9047	4,667E-03	1,533E-02	2,600E-02
	N	75	75	75	75	75
	Standardabweichung	,1367	,1333	2,490E-02	3,580E-02	5,597E-02

Tabelle 7.2.2 Durch *DSG 4* gemessene Farbanteile in Prozentsätzen unter verschiedenen Lichteinflüssen an Proband B bei Verwendung einer Bissschiene

Im Ergebnis kann man anhand der Versuchsserie 2 erkennen, dass die Zuhilfenahme einer Bissschiene und dadurch eine unverrückbare Position der Messsondenspitze eindeutig zu einer Verbesserung der Reproduzierbarkeit der Messergebnisse beitrug. Allerdings sind die gemessenen Werte an Proband B nicht ebenso eindeutig wie die an Proband A. Es wird deutlich, dass bei Proband A eine einheitliche Farbe gemessen wurde, bei Proband B aber offensichtlich eine Mischfarbe vorliegt. Daher wird deutlich, dass *DSG 4* eine hohe Reproduzierbarkeit an den Tag legt, vorausgesetzt es wird eine exakt umschriebene Stelle eines Zahnes gemessen, von der während der Messungen nicht abgewichen wird. Weiterhin wird aber auch deutlich, dass *DSG 4* Mischfarben, wie im Falle von Proband B, nicht in gleicher Weise exakt reproduziert wie reine Farben. Jedoch sind die Abweichungen auch hierbei sehr gering. Offensichtlich spielt beim Vorhandensein von Mischfarben auch die Beleuchtungssituation -wenn auch nur minimal- eine Rolle. So war das Ergebnis bei Proband B unter Einfluss der Behandlungsleuchte deutlicher

abweichend von den Lichtsituationen natürliches Tageslicht und Tageslichtlampe, bei denen für die dominierende Farbe B1 ähnliche Werte ermittelt wurden.

Die Versuchsserie 2 lässt daher bezüglich der Reproduzierbarkeit des *DSG 4* den Schluss zu, dass die Reproduzierbarkeit bei reinen Farben außerordentlich hoch ist, bei Mischfarben aber Abweichungen vorkommen, die im Ergebnis jedoch so gering sind, dass sie im klinischen Alltag eher vernachlässigbar sind.

### 7.3. Versuchsserie 3 – Bestimmung der Zahnfarbe an den Zähnen 21 zweier Probanden mittels Farbring und *DSG 4* durch 50 Untersucher

In dieser Versuchsserie nutzten 50 Farbbestimmende den *Vita*-Farbring (Versuchsserie 3a), bzw. *DSG 4* (Versuchsserie 3b), um die Zahnfarbe der mittleren Schneidezähnen 21 der beiden Probanden aus Versuchsserie 1 und 2 zu bestimmen.

Das Untersucherkollektiv teilte sich in 25 weibliche und 25 männliche Farbbestimmende auf. Von diesen waren 14 Personen im 8. Semester (4 davon weiblich), 21 Personen im 9. Semester (12 davon weiblich). 6 Zahnärzthelferinnen und 6 Zahnärzte, darunter 3 Zahnärztinnen, nahmen ferner an der Studie teil.

männlich	25
weiblich	25
8.Semester	14
9.Semester	21
Zahnärzthelferinnen	6
Zahnärzte	9

	8.Semester.	9.Semester.	Zahnärzthelferinnen	Zahnärzte
männlich	10	9	-	6
weiblich	4	12	6	3

Tabellen 7.3.1 und 7.3.2 Aufteilung der Untersucher nach Geschlecht und Gruppenzugehörigkeit

Die Versuchsserie 3 soll auf die beiden vorangegangenen Versuchsserien aufbauen. Es soll erörtert werden, inwieweit Unterschiede zwischen der herkömmlichen Methode in der Farbbestimmung anhand eines Farbringes einerseits und der instrumentellen Farbbestimmung mit *DSG 4* andererseits erkennbar sind. Die in Versuchsserie 2 ermittelten Werte, die mit *DSG 4* unter Zuhilfenahme einer Bisschiene ermittelt wurden, sollen diesem Versuch gewissermaßen als Goldstandard zugrunde liegen. Dieses Vorgehen ist darin begründet, dass die herkömmliche Farbbestimmung immer einer subjektiven Beurteilung unterliegt. In Versuchsserie 2 wurden diese möglichen subjektiven Fehlerquellen ausgeschlossen, da die Farbbestimmung maschinell mit *DSG 4* erfolgte. Weiterhin wurde in dieser Versuchsreihe durch die Zuhilfenahme einer Bisschiene eine hohe Reproduzierbarkeit gewährleistet.

### 7.3.1 Versuchsserie 3a) – Bestimmung der Zahnfarbe an den Zähnen 21 zweier Probanden mittels Farbring

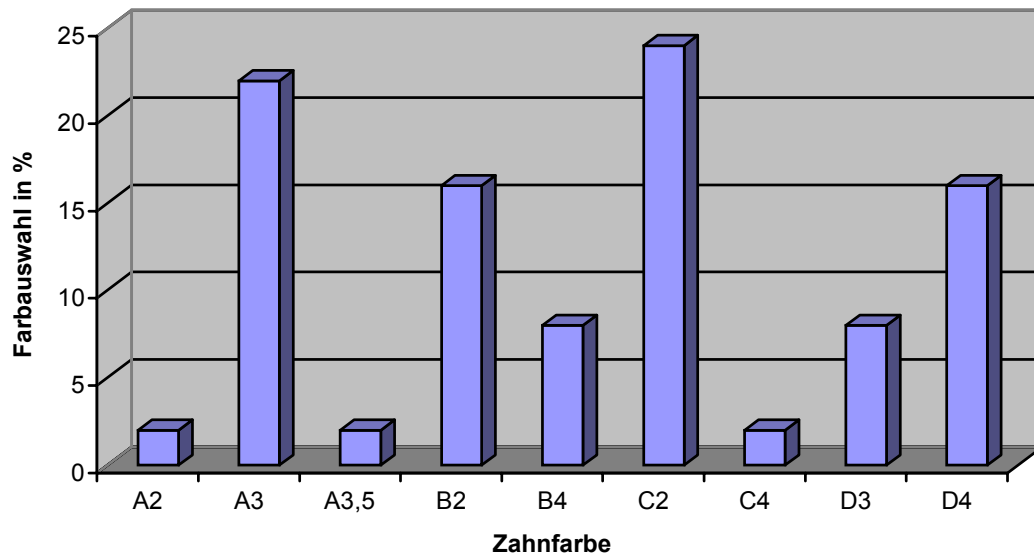
Die verschiedenen farbbestimmenden Studienteilnehmer sollten in dieser Versuchsserie mit einem kodierten Farbring *Vitapan Classical* der Firma *Vita* an den beiden Probanden aus den vorangegangenen Versuchsserien wiederum die Zähne 21 bestimmen. Durch die Kodierung des Farbringes sollte ein objektiver Farbvergleich ermöglicht werden. Die angegebenen kodierten Farben wurden protokolliert, anschließend in einer *Word* Tabelle gesichert und wieder in die Farbbezeichnungen der *Vita*-Farbpalette umkodiert. Die gewonnenen Daten wurden dem Statistik-Programm *SPSS* für *Windows* unter Berücksichtigung des Geschlechts und der Kategorisierung der Farbbestimmenden in die Gruppen „Studenten“, „Zahnarthelferinnen“ und „Zahnärzte“ zugänglich gemacht. Die Diagramme wurden anschließend mit dem Programm *Microsoft Excel* erarbeitet.

Die von den 50 Studenten, Zahnarthelferinnen und Zahnärzten ausgewählten Farben lieferten die folgenden, in Diagramm- und Tabellenform dargestellten Ergebnisse:

An Proband A wurde unabhängig von Geschlecht und Gruppenzugehörigkeit (Student (8. und 9. Semester), Zahnarthelferin, Zahnarzt) am häufigsten die Farbe C2 mit 24% ausgewählt. Danach A3 mit 22%, B2 und D4 mit jeweils 16%. B4 und D3 wurden zu jeweils 8% ausgewählt. Die Farbwahlen A2, A3,5 und C4 fielen mit jeweils 2% kaum ins Gewicht.

Im Hinblick auf die Versuchsserien 1 und insbesondere 2 wird ersichtlich, dass der dort bestimmte zahlenmäßig dominierende Farbanteil der Zahnfarbe A1 in dieser Versuchsserie 3a) von keinem der Untersucher ausgewählt wurde. Im Gegensatz zu den beiden vorangegangenen Versuchsserien ist weiterhin zu beobachten, dass die Farbbestimmer eine wesentlich größere Spanne an Zahnfarben auswählten, als die instrumentelle Farbbestimmung mit *DSG 4* dies tat. Die am häufigsten ausgewählte Zahnfarbe C2 wurde von weniger als  $\frac{1}{4}$  der 50 Untersucher angegeben. Die große Streuung und die nichtvorhandene Präferenz für eine bestimmte Zahnfarbe machen die subjektiven Faktoren bei der Farbbestimmung deutlich.

### Versuch 3a - Proband A



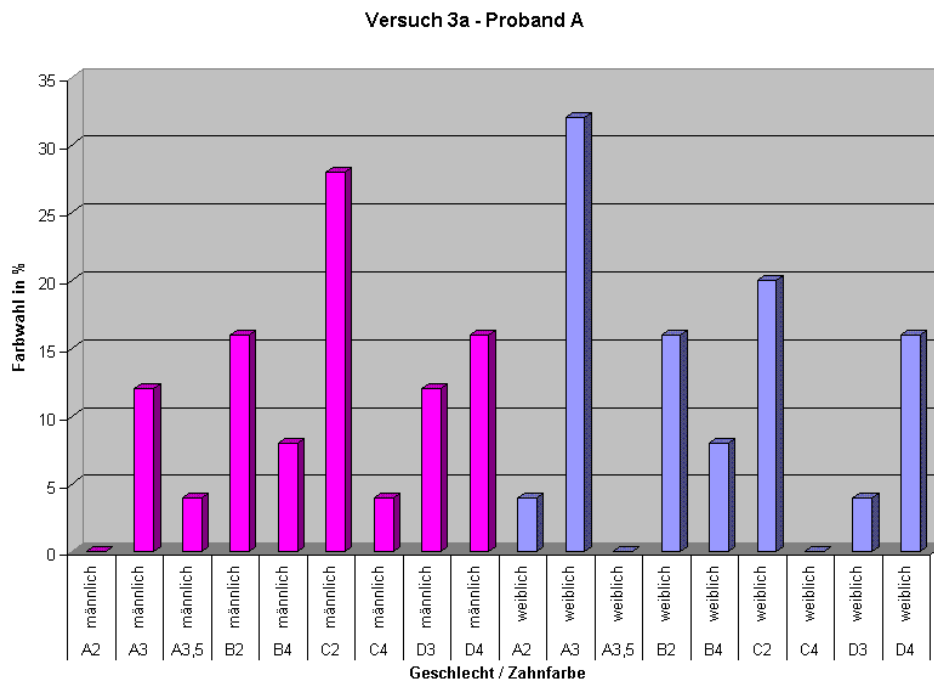
Graphik 7.3.1 Verteilung der durch 50 Untersucher ausgewählten Farben für Zahn 21 des Probanden A

Deskriptive Statistik					
	N	Minimum	Maximum	absolute Werte	Standardabweichung
A2	50	0	1	2,00E-02	,14
A3	50	0	1	,22	,42
A3,5	50	0	1	2,00E-02	,14
B2	50	0	1	,16	,37
B4	50	0	1	8,00E-02	,27
C2	50	0	1	,24	,43
C4	50	0	1	2,00E-02	,14
D3	50	0	1	8,00E-02	,27
D4	50	0	1	,16	,37
<b>Gültige Werte (Listenweise)</b>	50				

Tabelle 7.3.3 Verteilung der durch 50 Untersucher ausgewählten Farben für Zahn 21 des Probanden A

Schlüsselt man die Farbwahl geschlechtsspezifisch auf, so bemerkt man, dass die weiblichen Farbbestimmer eher zur Farbe A3 tendierten (32%), wohingegen die männlichen eher C2 angaben (28%). Die Frauen gaben C2 an zweithäufigster Stelle mit 20% an. Die Männer gaben die Farbe A3 -die von den Frauen am häufigsten ausgewählt wurde- allerdings erst an 4. Stelle mit 12% und gleichauf mit der Farbe D3 an.

Die Männer gaben an zweiter Stelle B2 und D4 mit jeweils 16% an. Diese Farben wurden auch von den Frauen zu je 16% ausgewählt. Die männlichen und weiblichen Farbbestimmenden gaben noch B4 mit 8% an. Die restlichen mit 4% gezählten Farben A3,5 und C4 (Männer), sowie A2 und D3 (Frauen), vielen kaum ins Gewicht.



Graphik 7.3.2 Verteilung der durch 50 Untersucher ausgewählten Farben für Zahn 21 des Probanden A, geschlechtsspezifisch aufgeteilt

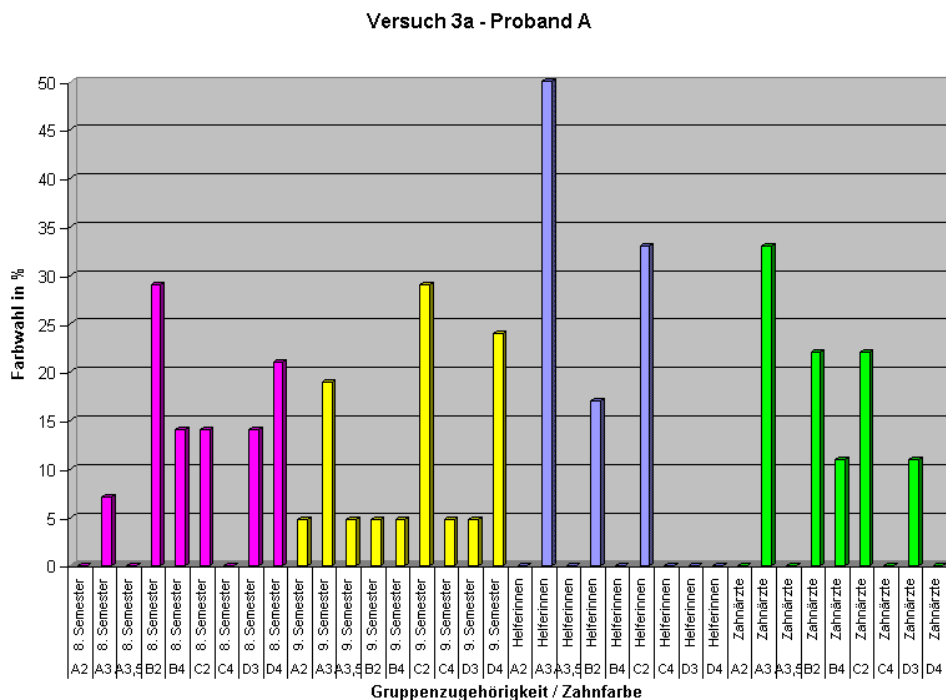
		A2	A3	A3,5	B2	B4	C2	C4	D3	D4	* Geschlecht
<b>geschlecht</b>	<b>Mittelwert</b>	,00	,12	4,00E-02	,16	8,00E-02	,28	4,00E-02	,12	,16	
	<b>N</b>	25	25	25	25	25	25	25	25	25	
	<b>Standardabweichung</b>	,00	,33	,20	,37	,28	,46	,20	,33	,37	
<b>weiblich</b>	<b>Mittelwert</b>	4,00E-02	,32	,00	,16	8,00E-02	,20	,00	4,00E-02	,16	
	<b>N</b>	25	25	25	25	25	25	25	25	25	
	<b>Standardabweichung</b>	,20	,48	,00	,37	,28	,41	,00	,20	,37	
<b>insgesamt</b>	<b>Mittelwert</b>	2,00E-02	,22	2,00E-02	,16	8,00E-02	,24	2,00E-02	8,00E-02	,16	
	<b>N</b>	50	50	50	50	50	50	50	50	50	
	<b>Standardabweichung</b>	,14	,42	,14	,37	,27	,43	,14	,27	,37	

Tabelle 7.3.4 Verteilung der durch 50 Untersucher ausgewählten Farben für Zahn 21 des Probanden A, geschlechtsspezifisch aufgeteilt

Wenn man die farbnehmenden Untersucher nach deren Gruppenzugehörigkeit kategorisiert, fällt auf, dass Studenten des 8. Semesters B2 favorisierten (29%), Studenten des 9. Semesters C2 (29%), Zahnarzthelferinnen und Zahnärzte jedoch eher die Farbe A3 mit 50%, bzw. 33%. Diese Farbe wurde von den Studenten aber nur in 7,14% (8. Semester) bzw. 19% (9. Semester) gewählt. Die Farbe C2 gaben 33% der Zahnarzthelferinnen und 22% der Zahnärzte an.

Abgesehen davon ist ersichtlich, dass die Studenten des 8. und 9. Semesters D4 am zweithäufigsten als passende Farbe mit 21% bzw. 24% auswählten, wohingegen die beiden anderen Gruppen diese Farbwahl überhaupt nicht trafen.

Von den Farbbestimmern des 8. Semesters wurden ferner die Farben B4, C2 und D3 mit jeweils 14% angegeben. Die des 9. Semesters gaben zu jeweils 4,76% die Farben A2, A3,5, B2, B4, C4 und D3 an. Zahnarzthelferinnen gaben B2 mit 17% an, und die Zahnärzte B2 noch mit 22%. Die Gruppe der Zahnärzten traf des weiteren noch in 11% der Fälle die Wahl B4 bzw. D3.



Graphik 7.3.3 Verteilung der durch 50 Untersucher ausgewählten Farben für Zahn 21 des Probanden A, aufgeteilt nach Gruppenzugehörigkeit



A2 A3 A3,5 B2 B4 C2 C4 D3 D4 * Gruppenzugehörigkeit										
Gruppenzugehörigkeit		A2	A3	A3,5	B2	B4	C2	C4	D3	D4
8.Semester	Mittelwert	,00	7,14E-02	,00	,29	,14	,14	,00	,14	,21
	N	14	14	14	14	14	14	14	14	14
	Standardabweichung	,00	,27	,00	,47	,36	,36	,00	,36	,43
9.Semester	Mittelwert	4,76E-02	,19	4,76E-02	4,76E-02	4,76E-02	,29	4,76E-02	4,76E-02	,24
	N	21	21	21	21	21	21	21	21	21
	Standardabweichung	,22	,40	,22	,22	,22	,46	,22	,22	,44
Zahnarzt- helferinnen	Mittelwert	,00	,50	,00	,17	,00	,33	,00	,00	,00
	N	6	6	6	6	6	6	6	6	6
	Standardabweichung	,00	,55	,00	,41	,00	,52	,00	,00	,00
Zahnärzte	Mittelwert	,00	,33	,00	,22	,11	,22	,00	,11	,00
	N	9	9	9	9	9	9	9	9	9
	Standardabweichung	,00	,50	,00	,44	,33	,44	,00	,33	,00
insgesamt	Mittelwert	2,00E-02	,22	2,00E-02	,16	8,00E-02	,24	2,00E-02	8,00E-02	,16
	N	50	50	50	50	50	50	50	50	50
	Standardabweichung	,14	,42	,14	,37	,27	,43	,14	,27	,37

Tabelle 7.3.5 Verteilung der durch 50 Untersucher ausgewählten Farben für Zahn 21 des Probanden A, aufgeteilt nach Gruppenzugehörigkeit

Der mithilfe des Statistikprogramms *SPSS* für *Windows* errechnete *Cohen-Kappa*-Koeffizient wurde für die interindividuelle Übereinstimmung getrennt nach der Übereinstimmung hinsichtlich des Farbtons und der Farbhelligkeit erarbeitet. Dieses Vorgehen ist darin begründet, dass für die zu vergleichenden Untersucherkollektive gleiche Datensätze, wenn auch in unterschiedlicher Verteilung, vorliegen müssen. Wegen der großen Bandbreite der Farbnahmen kam es zu Farbauswahlen, die beispielsweise nur weibliche, nicht aber männliche Untersucher trafen. Dadurch ist prinzipiell die Errechnung des *Cohen-Kappa*-Koeffizienten nicht möglich. Diese Problematik konnte durch die getrennte Auswertung des Farbtons und der Farbhelligkeit umgangen werden, da ohne die Kombination dieser beiden Werte gleiche, vergleichbare Datensätze in unterschiedlicher Verteilung vorlagen. Die interindividuelle Übereinstimmung wurde zwischen den Untersucherkollektiven „weiblich“ und „männlich“ errechnet. Eine Beschreibung des *Cohen-Kappa*-Koeffizienten für die weiteren, im Vorfeld angegebenen Unterteilungen hinsichtlich der Gruppenzugehörigkeit entziehen sich einer statistischen Analyse, da die zahlenmäßige Zusammensetzung dieser Untersucherkollektive nicht homogen ist.

Demnach ergab sich ein *Cohen-Kappa*-Koeffizient von 0,372 für Proband A hinsichtlich der geschlechtsspezifischen Farbtoneauswahl.

<b>Proband A - Farbton</b>					
<b>Symmetrische Maße</b>					
		<b>Wert</b>	<b>Asymptotischer Standardfehler(a)</b>	<b>Näherungsweise T(b)</b>	<b>Näherungsweise Signifikanz</b>
<b>Maß der Übereinstimmung</b>	<b>Kappa</b>	,372	,125	3,426	,001
<b>Anzahl der gültigen Fälle</b>		25			
a Die Null-Hyphothese wird nicht angenommen.					
b Unter Annahme der Null-Hyphothese wird der asymptotische Standardfehler verwendet.					

Tabelle 7.3.6 Geschlechtsspezifischer interindividueller Unterschied für die Farbtonbestimmung des Zahnes 21 des Probanden A ausgedrückt durch den *Cohen-Kappa*-Koeffizienten

Für die interindividuelle Übereinstimmung der beiden Geschlechter bezüglich der Farbhelligkeit ergab sich ein Wert von 0,878. Um diese Berechnung zu ermöglichen und homogene Daten zu verwenden, wurde der Helligkeitswert 3,5 dem Helligkeitswert 3 zugeordnet, da ein männlicher Proband, aber kein weiblicher diesen Wert angab.

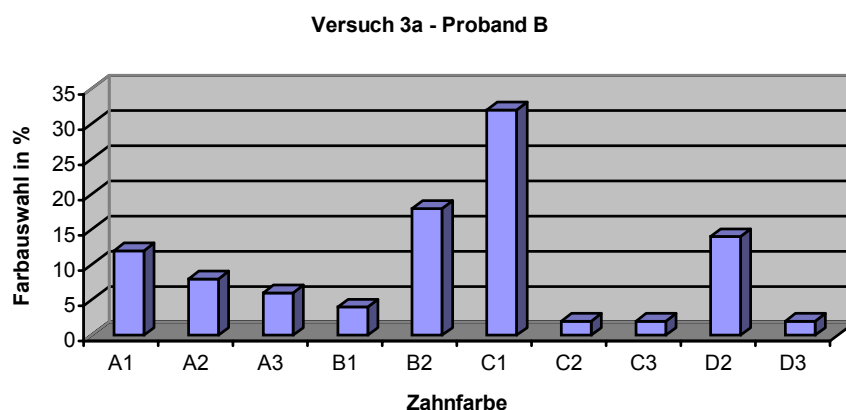
<b>Proband A - Farbhelligkeit</b>					
<b>Symmetrische Maße</b>					
		<b>Wert</b>	<b>Asymptotischer Standardfehler(a)</b>	<b>Näherungsweise T(b)</b>	<b>Näherungsweise Signifikanz</b>
<b>Maß der Übereinstimmung</b>	<b>Kappa</b>	,878	,082	6,211	,000
<b>Anzahl der gültigen Fälle</b>		25			
a Die Null-Hyphothese wird nicht angenommen.					
b Unter Annahme der Null-Hyphothese wird der asymptotische Standardfehler verwendet.					

Tabelle 7.3.7 Geschlechtsspezifischer interindividueller Unterschied für die Farbhelligkeitsbestimmung des Zahnes 21 des Probanden A ausgedrückt durch den *Cohen-Kappa*-Koeffizienten

Die Farbbestimmungen an Proband B zeigten deutlich, dass die 50 Farbbestimmenden mit dem *Vitapan Classical* Farbring im Mittel die Vita-Farbe C1 (32%), gefolgt von B2 (18%) bevorzugten.

An dritter und vierter Stelle folgten D2 und A1 mit 14%, bzw. mit 12%. Danach wurden in absteigender Häufigkeit die Farben A2 (8%), A3 (6%) und B1 (4%) bestimmt. Die Farben C2, C3 und D3 gaben jeweils 2% der Gefragten an.

Auch in der Auswertung der erhobenen Zahnfarben für Proband B wird wieder deutlich, dass die Spannweite der Farbauswahlen sehr groß ist. Die am häufigsten gewählte Farbe ist mit 32% zwar etwas öfter bestimmt worden, als dies bei Proband A der Fall war, jedoch ist eine von nur  $\frac{1}{3}$  der Farbnehmer gestützte Zahnfarbe keine Grundlage um in der Praxis eine farblich passende restaurative Arbeit herstellen zu können.



Graphik 7.3.4 Verteilung der durch 50 Untersucher ausgewählten Farben für Zahn 21 des Probanden B

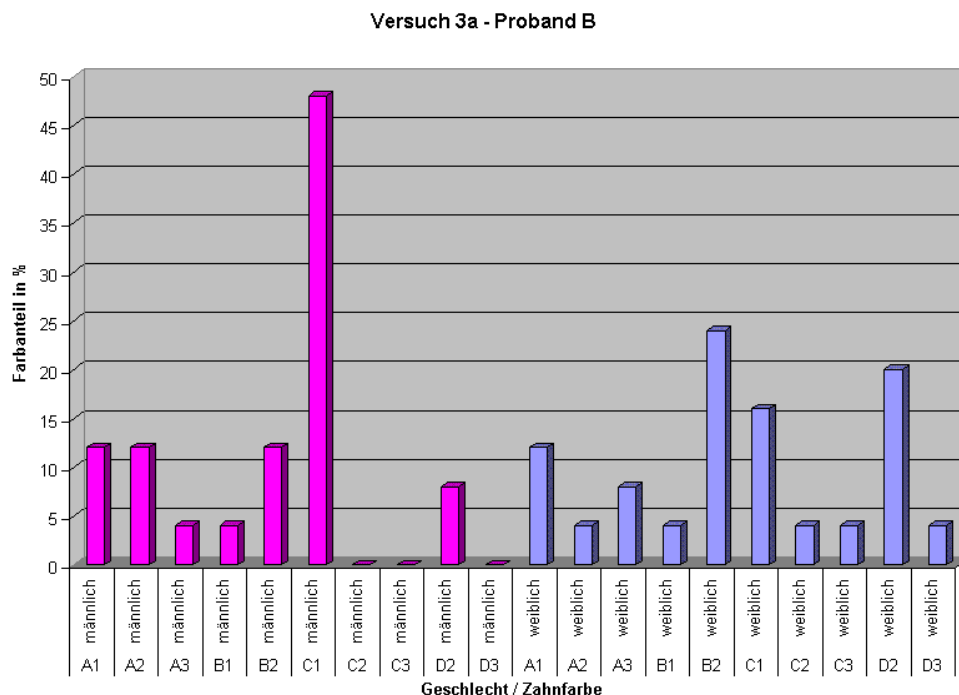
Deskriptive Statistik					
	N	Minimum	Maximum	absolute Werte	Standardabweichung
<b>A1</b>	50	0	1	,12	,33
<b>A2</b>	50	0	1	8,00E-02	,27
<b>A3</b>	50	0	1	6,00E-02	,24
<b>B1</b>	50	0	1	4,00E-02	,20
<b>B2</b>	50	0	1	,18	,39
<b>C1</b>	50	0	1	,32	,47
<b>C2</b>	50	0	1	2,00E-02	,14
<b>C3</b>	50	0	1	2,00E-02	,14
<b>D2</b>	50	0	1	,14	,35
<b>D3</b>	50	0	1	2,00E-02	,14
<b>Gültige Werte (Listenweise)</b>	50				

Tabelle 7.3.8 Verteilung der durch 50 Untersucher ausgewählten Farben für Zahn 21 des Probanden B

Die geschlechtsspezifische Aufarbeitung der Daten zeigte, dass vor allem die Männer deutlich zur Farbe C1 tendierten. 48% gaben diese Farbe im Mittel an, wohingegen nur 16% der Frauen C1 als Zahnfarbe wählten.

Die Frauen gaben B2 mehrheitlich als Zahnfarbe an (24%). Bei den männlichen Farbbestimmenden waren die Farben A1, A2 und B2 mit jeweils 12% die am zweithäufigsten gewählten Farben. D2 wurde zu 8% bestimmt, A3 und B1 zu 4% ausgewählt. Die Farben C2, C3 und D3 wurden von den Männern überhaupt nicht angegeben, wohl aber von den Frauen mit jeweils 4%, wie auch die Farben A2 und B1. Die weiblichen Untersucher neigten als zweithäufigste Auswahl zu D2 mit 20%. Desweiteren bestimmten 12% der Frauen A1 und 8% A3.

Insgesamt betrachtet war die Streuung der ausgewählten Zahnfarben zwischen den Geschlechtern unterschiedlich. Die Frauen gaben eine Auswahl von zehn verschiedenen Zahnfarben aus allen Bereichen der *Vita*-Farbpalette an, wohingegen die Männer auf sieben verschiedene Farben beschränkt blieben, die eher im helleren Bereich der Farbpalette angesiedelt waren.



Graphik 7.3.5 Verteilung der durch 50 Untersucher ausgewählten Farben für Zahn 21 des Probanden B, geschlechtsspezifisch aufgeteilt

		A1	A2	A3	B1	B2	C1	C2	C3	D2	D3
<b>Geschlecht</b>		<b>A1</b>	<b>A2</b>	<b>A3</b>	<b>B1</b>	<b>B2</b>	<b>C1</b>	<b>C2</b>	<b>C3</b>	<b>D2</b>	<b>D3</b>
<b>männlich</b>	<b>Mittelwert</b>	,12	,12	4,00E-02	4,00E-02	,12	,48	,00	,00	8,00E-02	,00
	<b>N</b>	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
	<b>Standardabweichung</b>	,33	,33	,20	,20	,33	,51	,00	,00	,28	,00
<b>weiblich</b>	<b>Mittelwert</b>	,12	4,00E-02	8,00E-02	4,00E-02	,24	,16	4,00E-02	4,00E-02	,20	4,00E-02
	<b>N</b>	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
	<b>Standardabweichung</b>	,33	,20	,28	,20	,44	,37	,20	,20	,41	,20
<b>insgesamt</b>	<b>Mittelwert</b>	,12	8,00E-02	6,00E-02	4,00E-02	,18	,32	2,00E-02	2,00E-02	,14	2,00E-02
	<b>N</b>	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
	<b>Standardabweichung</b>	,33	,27	,24	,20	,39	,47	,14	,14	,35	,14

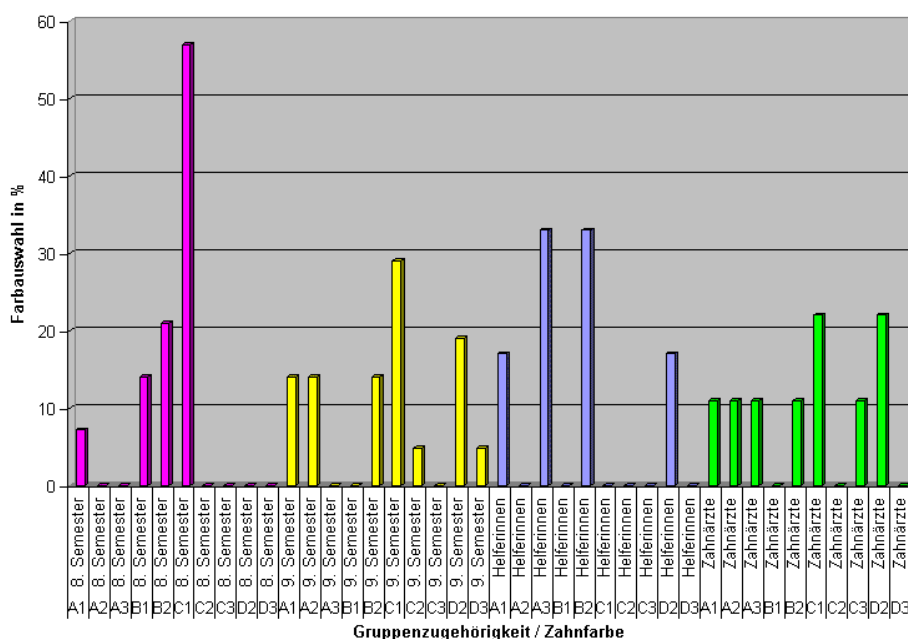
Tabelle 7.3.9 Verteilung der durch 50 Untersucher ausgewählten Farben für Zahn 21 des Probanden B, geschlechtsspezifisch aufgeteilt

Eingeteilt nach der Gruppenzugehörigkeit der farbbestimmenden Untersucher lag bei den Studenten des achten und neunten Semesters die Farbe C1 mit 57% bzw. 29% an erster Stelle. Auch die Zahnärzte gaben C1 gemeinsam mit D2 am häufigsten zu jeweils 22% an. Die Farbe D2 wurde von den Studenten des 9. Semesters an dritter Stelle zu 19% bestimmt.

Ein anderes Bild ergab sich bei den Zahnarzhelferinnen. Hier wurde C1 überhaupt nicht ausgewählt, stattdessen wurden A3 und B2 mit jeweils 33% angegeben. Die Farbe B2 wurde von den Studenten des achten Semesters mit 21%, von denen des neunten Semesters mit 14% und von den Zahnärzten mit 11% angegeben. B2 lag bei den Zahnärzten damit gleichauf mit den Farben A1, A2, A3 und C3. Die Studenten des achten Semesters wählten B1 zu 14% aus und schließlich A1 zu 7,1%. Von den Angehörigen des neunten Semesters wurden A1, A2 ebenso wie B2, welches schon erwähnt wurde, mit 14% angegeben, die Farben C2 und D3 mit 4,76%.

Die Zahnarzhelferinnen wählten nach ihren Favoriten die Farben A1 und D2 mit 17% aus.

Versuch 3a - Proband B



Graphik 7.3.6 Verteilung der durch 50 Untersucher ausgewählten Farben für Zahn 21 des Probanden B, aufgeteilt nach Gruppenzugehörigkeit

		A1	A2	A3	B1	B2	C1	C2	C3	D2	D3
<b>A1 A2 A3 B1 B2 C1 C2 C3 D2 D3 * Gruppenzugehörigkeit</b>											
Gruppenzugehörigkeit		A1	A2	A3	B1	B2	C1	C2	C3	D2	D3
8.Semester	Mittelwert	7,14E-02	,00	,00	,14	,21	,57	,00	,00	,00	,00
	N	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
	Standardabweichung	,27	,00	,00	,36	,43	,51	,00	,00	,00	,00
9.Semester	Mittelwert	,14	,14	,00	,00	,14	,29	4,76E-02	,00	,19	4,76E-02
	N	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21
	Standardabweichung	,36	,36	,00	,00	,36	,46	,22	,00	,40	,22
Zahnarzt-helferinnen	Mittelwert	,17	,00	,33	,00	,33	,00	,00	,00	,17	,00
	N	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
	Standardabweichung	,41	,00	,52	,00	,52	,00	,00	,00	,41	,00
Zahnärzte	Mittelwert	,11	,11	,11	,00	,11	,22	,00	,11	,22	,00
	N	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
	Standardabweichung	,33	,33	,33	,00	,33	,44	,00	,33	,44	,00
insgesamt	Mittelwert	,12	8,00E-02	6,00E-02	4,00E-02	,18	,32	2,00E-02	2,00E-02	,14	2,00E-02
	N	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
	Standardabweichung	,33	,27	,24	,20	,39	,47	,14	,14	,35	,14

Tabelle 7.3.10 Verteilung der durch 50 Untersucher ausgewählten Farben für Zahn 21 des Probanden B, aufgeteilt nach Gruppenzugehörigkeit

Der geschlechtsspezifische interindividuelle Unterschied ergab einen *Cohen-Kappa*-Koeffizienten von 0,628 bezüglich des Farbtons.

<b>Proband B - Farbton</b> Symmetrische Maße					
		Wert	Asymptotischer Standardfehler(a)	Näherungsweise T(b)	Näherungsweise Signifikanz
<b>Maß der Übereinstimmung</b>	<b>Kappa</b>	,628	,111	5,859	,000
<b>Anzahl der gültigen Fälle</b>		25			
a Die Null-Hyphothese wird nicht angenommen.					
b Unter Annahme der Null-Hyphothese wird der asymptotische Standardfehler verwendet.					

Tabelle 7.3.11 Geschlechtsspezifischer interindividueller Unterschied für die Farbtonbestimmung des Zahnes 21 des Probanden B ausgedrückt durch den *Cohen-Kappa*-Koeffizienten

Bezüglich der Farbhelligkeit konnte ein geschlechtsspezifischer interindividueller Unterschied von 0,293 bei der Farbbestimmung mittels Farbring errechnet werden.

<b>Proband B - Farbhelligkeit</b> Symmetrische Maße					
		Wert	Asymptotischer Standardfehler(a)	Näherungsweise T(b)	Näherungsweise Signifikanz
<b>Maß der Übereinstimmung</b>	<b>Kappa</b>	,293	,136	2,135	,033
<b>Anzahl der gültigen Fälle</b>		25			
a Die Null-Hyphothese wird nicht angenommen.					
b Unter Annahme der Null-Hyphothese wird der asymptotische Standardfehler verwendet.					

Tabelle 7.3.12 Geschlechtsspezifischer interindividueller Unterschied für die Farbhelligkeitsbestimmung des Zahnes 21 des Probanden B ausgedrückt durch den *Cohen-Kappa*-Koeffizienten

Im Ergebnis dieser Versuchsserie 3a) bleibt festzustellen, dass die herkömmliche Auswahl der Zahnfarbe mit Hilfe eines Farbringes die subjektiven Unterschiede in der Farbwahrnehmung der einzelnen Farbbestimmer deutlich widerspiegelt. Die Auswahl der vermeintlich passenden Zahnfarbe umschließt nahezu das gesamte angebotene Spektrum des Farbringes. Dieses Phänomen wurde bereits in der Literaturübersicht besprochen, und konnte mit dieser Versuchsserie Bestätigung finden. In der Retrospektive betrachtet ist es nicht möglich anhand der durch die 50 Untersucher angegebenen Farben die Zahnfarbe der beiden Schneidezähne der Probanden A und B deutlich festzumachen. Auffallend ist, dass vor allem weibliche

Studienteilnehmer, Zahnärzte und Zahnarzhelferinnen eine größere Anzahl an Farben angaben, als dies Studenten der 8. und 9. Semester taten. Dies könnte aus der größeren Erfahrung und gelernten ästhetischen Einschätzungsgabe der erstgenannten Gruppen resultieren, die nicht intuitiv eine Zahnfarbe auswählen wie dies bei unerfahreneren Farbbestimmern der Fall ist. Aus diesem Mehr an Überlegung, welches nun die tatsächlich besser passende Farbe sein könnte, ist es möglich, dass neben einer beobachteten längeren Auswahlzeit auch die breitere Streuung der erhobenen Zahnfarben resultiert.



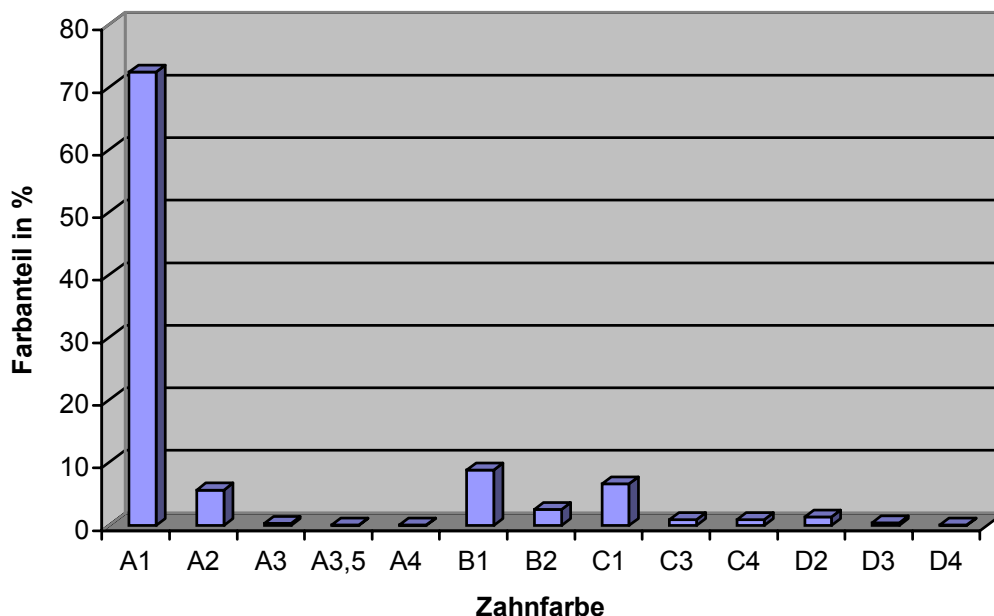
### 7.3.2 Versuchsserie 3b) - Bestimmung der Zahnfarbe an den Zähnen 21 zweier Probanden mittels *DSG 4*

In dieser Versuchsserie 3b) wurden wiederum die Zähne 21 der beiden Probanden aus den vorangegangenen Versuchsserien bestimmt. Die von den 50 Untersuchern bestimmten Farben wurden in der Ausgabemaske der *DSG 4* Software auf dem Monitor angezeigt. Diese Farbwerte wurden protokolliert und anschließend in das Statistikprogramm *SPSS* für *Windows* eingebracht. Auch hierbei wurden Geschlecht und Gruppenzugehörigkeit berücksichtigt.

Die Farbnehmer bestimmten mit *DSG 4* am Zahn 21 des Probanden A mit deutlicher Mehrheit den Farbanteil A1 (72,42%). *DSG 4* gab als weitere Werte in absteigender Reihenfolge die Farben B1 (8,84%), C1 (6,58%), A2 (5,64%), B2 (2,54%) und D2 (1,38%) an.

Der Anteil der restlichen Farben C3 (0,92%), C4 (0,88%), D3 (0,36%), A3 (0,3%), D4 (0,06%) und A3,5, sowie A4 mit 0,04%, sind mit ihren Werten unter 1% deutlich geringfügig.

#### Versuch 3b - Proband A



Graphik 7.3.7 Verteilung der durch 50 Untersucher mit *DSG 4* gemessenen Farbanteile für Zahn 21 des Probanden A bei jeweils 5 Messungen pro Untersucher

Deskriptive Statistik					
	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standardabweichung
<b>A1</b>	250	,00	1,00	,7242	,4097
<b>A2</b>	250	,00	1,00	5,640E-02	,1721
<b>A3</b>	250	,00	,55	3,000E-03	3,697E-02
<b>A3,5</b>	250	,00	,10	4,000E-04	6,325E-03
<b>A4</b>	250	,00	,10	4,000E-04	6,325E-03
<b>B1</b>	250	,00	1,00	8,840E-02	,2731
<b>B2</b>	250	,00	,85	2,540E-02	,1305
<b>C1</b>	250	,00	,95	6,580E-02	,2153
<b>C3</b>	250	,00	,85	9,200E-03	8,393E-02
<b>C4</b>	250	,00	1,00	8,800E-03	7,698E-02
<b>D2</b>	250	,00	,85	1,380E-02	9,205E-02
<b>D3</b>	250	,00	,70	3,600E-03	4,533E-02
<b>D4</b>	250	,00	,15	6,000E-04	9,487E-03
<b>Gültige Werte (Listenweise)</b>	250				

Tabelle 7.3.13 Verteilung der durch 50 Untersucher mit *DSG 4* gemessenen Farbanteile für Zahn 21 des Probanden A bei jeweils 5 Messungen pro Untersucher

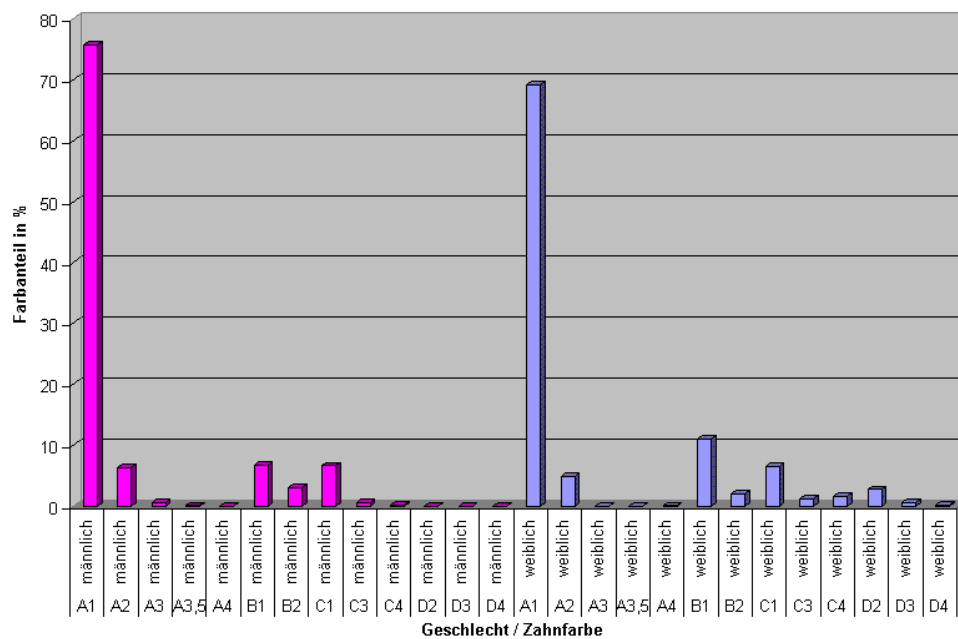
Untersucht man die geschlechtsspezifische Verteilung der Messungen mit *DSG 4*, so ist festzustellen, dass hier ein ähnliches Ergebnis vorliegt.

Sowohl die Messungen der Frauen, als auch die der Männer ergaben eine deutliche Mehrheit für die Farbe A1. Die Werte lagen anteilig bei 69,12% für die Frauen und 75,72% für die Männer.

Die restlichen Farbangaben sind auch bei dieser Auswertungsform prozentual deutlich geringer wahrnehmbar. In absteigender Reihenfolge wurden die Farbanteile B1 (Frauen 11%, Männer 6,68%), C1 (Frauen 6,52%, Männer 6,64%) und A2 (Frauen 4,96%, Männer 6,32%) bestimmt. Die gemessenen Zahnfarben mit geringeren Werten unterschieden sich dagegen in der Rangfolge zwischen Frauen und Männern. Die Frauen maßen D2 mit 2,76%, B2 mit 1,96%, C4 mit 1,64%, C3 mit 1,16%, D3 mit 0,68%, D4 mit 0,12% und A4 mit 0,08%. Die Farben A3 und A3,5, die von den Männern –wenn auch geringwertig– gemessen wurden, traten bei den Frauen nicht auf.

Die Messungen der Männer ergaben für die Farben B2 3,12%, C3 0,68%, A3 0,6%, C4 0,12%, A3,5 0,08% und D3 0,04%. Die Zahnfarben A4, D2 und D4 wurden von den Männern überhaupt nicht gemessen.

Versuch 3b - Proband A



Graphik 7.3.8 Verteilung der durch 50 Untersucher mit *DSG 4* gemessenen Farbanteile für Zahn 21 des Probanden A bei jeweils 5 Messungen pro Untersucher, geschlechtsspezifisch aufgeteilt

Bericht								
Geschlecht		A1	A2	A3	A3,5	A4	B1	B2
männlich	Mittelwert	,7572	6,320E-02	6,000E-03	8,000E-04	,0000	6,680E-02	3,120E-02
	N	125	125	125	125	125	125	125
	Standardabweichung	,3913	,1988	5,221E-02	8,944E-03	,0000	,2470	,1468
weiblich	Mittelwert	,6912	4,960E-02	,0000	,0000	8,000E-04	,1100	1,960E-02
	N	125	125	125	125	125	125	125
	Standardabweichung	,4264	,1409	,0000	,0000	8,944E-03	,2963	,1121
insgesamt	Mittelwert	,7242	5,640E-02	3,000E-03	4,000E-04	4,000E-04	8,840E-02	2,540E-02
	N	250	250	250	250	250	250	250
	Standardabweichung	,4097	,1721	3,697E-02	6,325E-03	6,325E-03	,2731	,1305

Tabelle 7.3.14a Verteilung der durch 50 Untersucher mit *DSG 4* gemessenen Farbanteile für Zahn 21 des Probanden A bei jeweils 5 Messungen pro Untersucher, geschlechtsspezifisch aufgeteilt (Farben A1-B2)

Geschlecht		C1	C3	C4	D2	D3	D4
männlich	Mittelwert	6,640E-02	6,800E-03	1,200E-03	,0000	4,000E-04	,0000
	N	125	125	125	125	125	125
	Standardabweichung	,2164	7,603E-02	1,342E-02	,0000	4,472E-03	,0000
weiblich	Mittelwert	6,520E-02	1,160E-02	1,640E-02	2,760E-02	6,800E-03	1,200E-03
	N	125	125	125	125	125	125
	Standardabweichung	,2151	9,139E-02	,1077	,1290	6,393E-02	1,342E-02
insgesamt	Mittelwert	6,580E-02	9,200E-03	8,800E-03	1,380E-02	3,600E-03	6,000E-04
	N	250	250	250	250	250	250
	Standardabweichung	,2153	8,393E-02	7,698E-02	9,205E-02	4,533E-02	9,487E-03

Tabelle 7.3.14b Verteilung der durch 50 Untersucher mit *DSG 4* gemessenen Farbanteile für Zahn 21 des Probanden A bei jeweils 5 Messungen pro Untersucher, geschlechtsspezifisch aufgeteilt (Farben C1-D4)

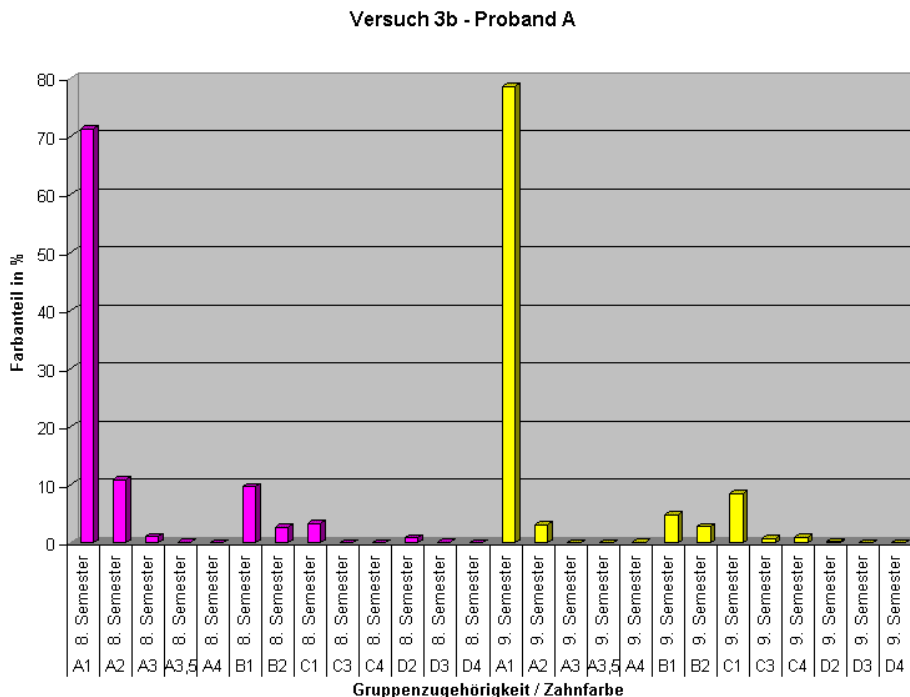
Betrachtet man die gewonnenen Messwerte nach der Gruppenzugehörigkeit der Messenden, ist A1 ebenfalls der am häufigsten gemessene Farbanteil. Er dominierte bei den Studenten des achten Semesters mit 71,21%, bei den Studenten des neunten Semesters mit 78,62%. Die Zahnarthelferinnen maßen zu 60% und schließlich auch die Zahnärzte zu 68,11% anteilig die Farbe A1.

Die Farbbestimmenden des achten Semesters gaben des weiteren A2 mit 10,86%, B1 mit 9,71%, C1 mit 3,36%, B2 mit 2,71%, A3 mit 1,07%, D2 mit 0,86%, A3,5 mit 0,14% und D3 mit 0,07% an. Die Zahnfarben A4, C3, C4 und D4 wurden während der Messungen der Studenten des achten Semesters durch *DSG 4* nicht angegeben. Die Farbbestimmenden des neunten Semesters bestimmten prozentual gesehen in absteigender Reihenfolge nach A1 die folgenden Farbanteile:

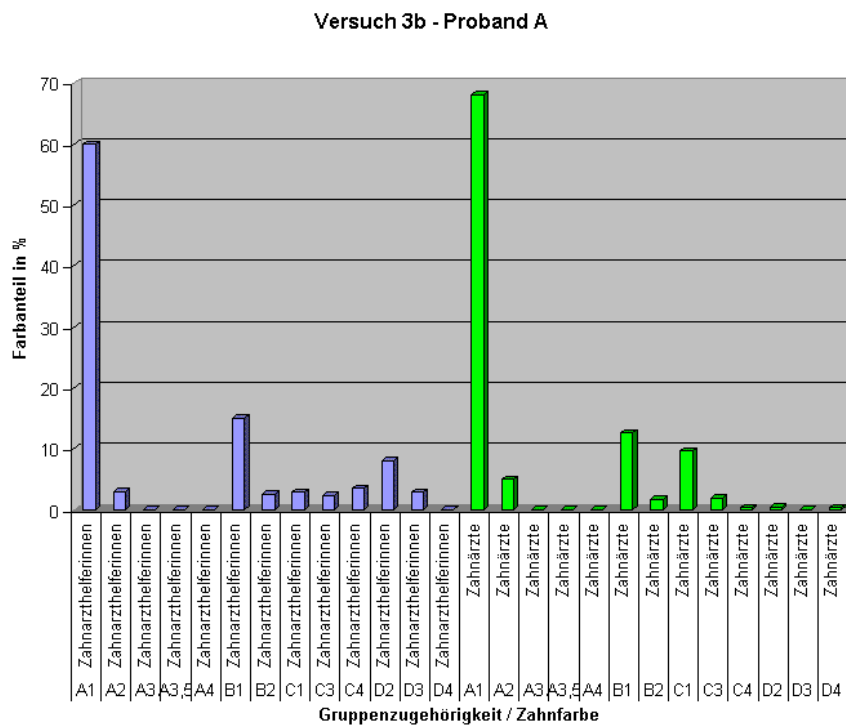
C1 wurde zu 8,48% bestimmt, B1 zu 4,91%, A2 zu 3,19%, B2 zu 2,81%, C4 zu 0,95%, C3 zu 0,71%, D2 zu 0,24% und A4 zu 0,095%. Die Farben A3, A3,5, D3 und D4 wurden nicht angegeben.

Die Zahnarthelferinnen lieferten B1 mit 15%, D2 mit 8%, C4 mit 3,5%, A2 mit 3%, C1 und D3 mit 2,83%, B2 mit 2,5% und C3 mit 2,33%. Die Farben A3, A3,5, A4 und D4 spielten bei den Messungen durch die Zahnarthelferinnen keine Rolle.

Die Zahnärzte bestimmten des weiteren den Farbanteil B1 mit 12,56%, C1 mit 9,67%, A2 mit 5%, C3 mit 1,89% und B2 mit 1,67%. Zu den Messwerten, die statistisch gesehen unter 1% lagen, gehörten D2 mit 0,44%, C4 und D4 mit 0,33%. Die Zahnärzte hatten keine Messungen durchgeführt, die Farbanteile der Farben A3, A3,5, A4 oder D3 enthalten hätten.



Graphik 7.3.9 Verteilung der durch 50 Untersucher mit *DSG 4* gemessenen Farbanteile für Zahn 21 des Probanden A bei jeweils 5 Messungen pro Untersucher, aufgeteilt nach Gruppenzugehörigkeit (8. und 9. Semester)



Graphik 7.3.10 Verteilung der durch 50 Untersucher mit *DSG 4* gemessenen Farbanteile für Zahn 21 des Probanden A bei jeweils 5 Messungen pro Untersucher, aufgeteilt nach Gruppenzugehörigkeit (Zahnarzhelferinnen und Zahnärzte)

Bericht								
Gruppenzugehörigkeit		A1	A2	A3	A3,5	A4	B1	B2
8.Semester	Mittelwert	,7121	,1086	1,071E-02	1,429E-03	,0000	9,714E-02	2,714E-02
	N	70	70	70	70	70	70	70
	Standardabweichung	,4238	,2565	6,962E-02	1,195E-02	,0000	,2830	,1299
9.Semester	Mittelwert	,7862	3,190E-02	,0000	,0000	9,524E-04	4,905E-02	2,810E-02
	N	105	105	105	105	105	105	105
	Standardabweichung	,3549	,1108	,0000	,0000	9,759E-03	,2073	,1380
Zahnarzt- helferinnen	Mittelwert	,6000	3,000E-02	,0000	,0000	,0000	,1500	2,500E-02
	N	30	30	30	30	30	30	30
	Standardabweichung	,4620	7,724E-02	,0000	,0000	,0000	,3511	,1369
Zahnärzte	Mittelwert	,6811	5,000E-02	,0000	,0000	,0000	,1256	1,667E-02
	N	45	45	45	45	45	45	45
	Standardabweichung	,4561	,1588	,0000	,0000	,0000	,3252	,1118
insgesamt	Mittelwert	,7242	5,640E-02	3,000E-03	4,000E-04	4,000E-04	8,840E-02	2,540E-02
	N	250	250	250	250	250	250	250
	Standardabweichung	,4097	,1721	3,697E-02	6,325E-03	6,325E-03	,2731	,1305

Tabelle 7.3.15a Verteilung der durch 50 Untersucher mit *DSG 4* gemessenen Farbanteile für Zahn 21 des Probanden A bei jeweils 5 Messungen pro Untersucher, aufgeteilt nach Gruppenzugehörigkeit (Farben A1-B2)

Bericht							
Gruppenzugehörigkeit		C1	C3	C4	D2	D3	D4
8.Semester	Mittelwert	3,357E-02	,0000	,0000	8,571E-03	7,143E-04	,0000
	N	70	70	70	70	70	70
	Standardabweichung	,1612	,0000	,0000	7,171E-02	5,976E-03	,0000
9.Semester	Mittelwert	8,476E-02	7,143E-03	9,524E-03	2,381E-03	,0000	,0000
	N	105	105	105	105	105	105
	Standardabweichung	,2345	7,319E-02	9,759E-02	2,440E-02	,0000	,0000
Zahnarzt- helferinnen	Mittelwert	2,833E-02	2,333E-02	3,500E-02	8,000E-02	2,833E-02	,0000
	N	30	30	30	30	30	30
	Standardabweichung	,1552	,1278	,1226	,2277	,1298	,0000
Zahnärzte	Mittelwert	9,667E-02	1,889E-02	3,333E-03	4,444E-03	,0000	3,333E-03
	N	45	45	45	45	45	45
	Standardabweichung	,2670	,1267	2,236E-02	2,981E-02	,0000	2,236E-02
insgesamt	Mittelwert	6,580E-02	9,200E-03	8,800E-03	1,380E-02	3,600E-03	6,000E-04
	N	250	250	250	250	250	250
	Standardabweichung	,2153	8,393E-02	7,698E-02	9,205E-02	4,533E-02	9,487E-03

Tabelle 7.3.15b Verteilung der durch 50 Untersucher mit *DSG 4* gemessenen Farbanteile für Zahn 21 des Probanden A bei jeweils 5 Messungen pro Untersucher, aufgeteilt nach Gruppenzugehörigkeit (Farben C1-D4)

Um einen Vergleich zur Versuchsserie 3a) bezüglich des interindividuellen Unterschiedes anstellen zu können, mussten die erhobenen Daten für die Versuchsserie 3b) ebenfalls aufbereitet werden. *DSG 4* zeigt, wie bereits beschrieben wurde, im Falle von vorliegenden Mischfarben zwei Farbwerte an, die zusammengenommen die bestimmte Farbe ergeben. Dabei werden die Farbwerte in Prozent angegeben, wobei die *DSG 4*-Software in 5%-Schritten misst. Um statistisch auswertbare Daten zu erhalten wurden für die Berechnung des *Cohen-Kappa*-Koeffizienten die erhobenen Prozentsätze der durch *DSG 4* angegebenen Farbanteile in 5%-Einheiten unterteilt. Ohne diese Unterteilung wäre ein derartiger Vergleich im vorliegenden Versuch nicht möglich, da man prozentual unter-

schiedliche Farben nicht in dieser statistischen Auswertungsprozedur vergleichen kann. Ein Beispiel soll diesen Sachverhalt verdeutlichen: Ein weiblicher Studienteilnehmer bestimmte mit *DSG 4* den Probandenzahn in einer der fünf von diesem Untersucher durchgeführten Messungen mit anteilig 65% B1 und 35% B2. Ein männlicher Studienteilnehmer hingegen lieferte durch eine seiner Messungen ein Ergebnis von 60% B2 und 40% A2. Will man nun in einem statistischen Vergleich den interindividuellen Unterschied herausarbeiten, so müssen diese prozentual unterschiedlichen Angaben äquilibriert werden, indem man das kleinste gemeinsame Vielfache, nämlich 5% annimmt. Daher wurden sämtliche in dieser Versuchsserie gewonnenen Werte in 5%-Schritte unterteilt. Für das Beispiel ergeben sich so für den weiblichen Studienteilnehmer 13 x 5% B1 und 7 x 5% B2. Für den männlichen Studienteilnehmer ergeben sich 12 x 5% B2 und 8 x 5% A2. Erst durch diese in 5% Einheiten unterteilten Daten ist es möglich einen statistischen Vergleich herzustellen. Für jeweils 100% der gemessenen Zahnfarbe fallen also 20 Farbeinheiten an. Im Falle einer reinen Farbe, wie bei 100% A1 sind dies 20 Einheiten A1, bei einer Mischfarbe sind die Farbeinheiten entsprechend aufgeteilt. 25 weibliche und 25 männliche Studienteilnehmer führten jeweils 5 Messungen an einem Zahn durch, die in jeweils 20 Einheiten zerlegt wurden. Aus diesem Sachverhalt schließlich resultieren die in der Tabelle für den *Cohen-Kappa*-Koeffizienten aufgeführten 2500 gültigen Fälle, denn es wurden 2500 Farbeinheiten der männlichen Studienteilnehmer mit 2500 Farbeinheiten der weiblichen Studienteilnehmer verglichen.

Der errechnete *Cohen-Kappa*-Koeffizient zeigte für den interindividuellen Unterschied zwischen Männern und Frauen bezüglich des Farbtons bei Proband A einen Wert von 0,521.

<b>Proband A - Farbton</b>					
<b>Symmetrische Maße</b>					
		<b>Wert</b>	<b>Asymptotischer Standardfehler(a)</b>	<b>Näherungsweise T(b)</b>	<b>Näherungsweise Signifikanz</b>
<b>Maß der Übereinstimmung</b>	<b>Kappa</b>	,521	,015	36,865	,000
<b>Anzahl der gültigen Fälle</b>		2500			
a Die Null-Hyphothese wird nicht angenommen.					
b Unter Annahme der Null-Hyphothese wird der asymptotische Standardfehler verwendet.					

Tabelle 7.3.16 Geschlechtsspezifischer interindividueller Unterschied für die Farbtonbestimmung des Zahnes 21 des Probanden A ausgedrückt durch den *Cohen-Kappa*-Koeffizienten



Der geschlechtsspezifische interindividuelle Unterschied hinsichtlich der Farbhelligkeit erreichte einen Wert von 0,725. Bei der Berechnung des *Cohen-Kappa*-Koeffizienten für die Farbhelligkeit musste die Farbhelligkeit 3,5 der Farbhelligkeit 3 zugesprochen werden, da nur ein männlicher Untersucher eine Messung mit diesem Wert tätigte, aber kein weiblicher.

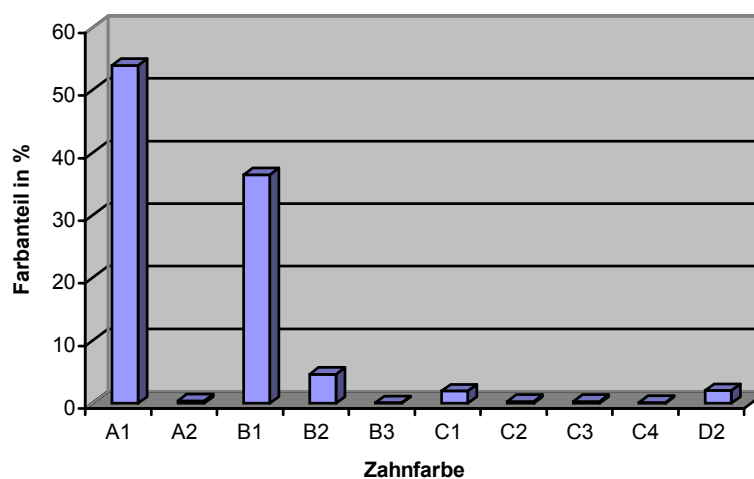
Proband A - Farbhelligkeit					
Symmetrische Maße					
		Wert	Asymptotischer Standardfehler(a)	Näherungsweise T(b)	Näherungsweise Signifikanz
Maß der Übereinstimmung	Kappa	,725	,018	43,272	,000
Anzahl der gültigen Fälle		2500			
a Die Null-Hyphothese wird nicht angenommen.					
b Unter Annahme der Null-Hyphothese wird der asymptotische Standardfehler verwendet.					

Tabelle 7.3.17 Geschlechtsspezifischer interindividueller Unterschied für die Farbhelligkeitsbestimmung des Zahnes 21 des Probanden A ausgedrückt durch den *Cohen-Kappa*-Koeffizienten

Die gewonnenen Ergebnisse der Messreihe ergaben für Proband B eine mehrheitlich A1 und B1 geprägte Farbe.

Mit *DSG 4* wurden anteilig A1 zu 53,98% und B1 zu 36,5% bestimmt. Die weiteren Farbangaben gliederten sich in 4,64% für B2, 2,04% für D2 und 1,96% für C1. Weiterhin wurden die Farben A2 mit 0,4%, C2 und C3 mit 0,32%, C4 mit 0,16%, sowie B3 mit 0,08% angegeben.

Versuch 3b - Proband B



Graphik 7.3.11 Verteilung der durch 50 Untersucher mit *DSG 4* gemessenen Farbanteile für Zahn 21 des Probanden B bei jeweils 5 Messungen pro Untersucher

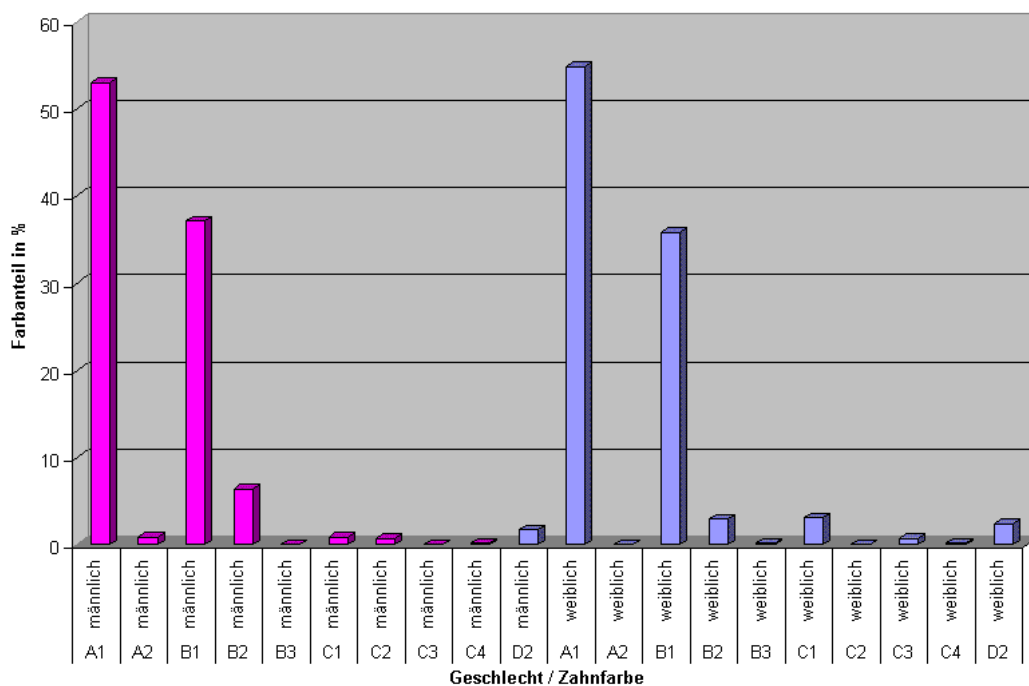
Deskriptive Statistik					
	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standardabweichung
<b>A1</b>	250	,00	1,00	,5398	,4742
<b>A2</b>	250	,00	1,00	4,000E-03	6,325E-02
<b>B1</b>	250	,00	1,00	,3650	,4501
<b>B2</b>	250	,00	1,00	4,640E-02	,1463
<b>B3</b>	250	,00	,20	8,000E-04	1,265E-02
<b>C1</b>	250	,00	1,00	1,960E-02	,1217
<b>C2</b>	250	,00	,80	3,200E-03	5,060E-02
<b>C3</b>	250	,00	,80	3,200E-03	5,060E-02
<b>C4</b>	250	,00	,20	1,600E-03	1,785E-02
<b>D2</b>	250	,00	1,00	2,040E-02	,1126
<b>Gültige Werte (Listenweise)</b>	250				

Tabelle 7.3.18 Verteilung der durch 50 Untersucher mit *DSG 4* gemessenen Farbanteile für Zahn 21 des Probanden B bei jeweils 5 Messungen pro Untersucher

Gliedert man die Messergebnisse anhand des Geschlechts der Messenden auf, ergibt sich ein ähnliches Bild. Zu 54,88% lieferte das Gerät den Farbanteil A1 und zu 35,84% B1, wenn Frauen die Messung durchführten. Die Messungen der Männer ergaben für A1 53,08% und für B1 37,16%. An dritter Stelle der Messreihe wurde ein Farbanteil von 6,4% B2 bei Männern gemessen. Frauen gaben an dieser Stelle Messungen mit einem durchschnittlichen Farbanteil von 3,04% C1 ab. Als weitere Farbangaben lieferte *DSG 4* bei den Frauen B2 mit 2,88%, D2 mit 2,4%, C3 mit 0,64% und C4 als auch B3 mit 0,16%. Farbanteile der Farben A2 und C2 tauchten in der Messserie bei den Frauen nicht auf.

Bei den Männern gliederte sich die Farbestimmung weiterhin wie folgt: D2 mit 1,68%, C1 mit 0,88%, A2 mit 0,8%, C2 mit 0,64% und C4 mit 0,16%. Männer lösten keine Messungen aus, welche die Farben B3 oder C3 enthalten hätten.

Versuch 3b - Proband B



Graphik 7.3.12 Verteilung der durch 50 Untersucher mit *DSG 4* gemessenen Farbanteile für Zahn 21 des Probanden B bei jeweils 5 Messungen pro Untersucher, geschlechtsspezifisch aufgeteilt

Bericht											
Geschlecht		A1	A2	B1	B2	B3	C1	C2	C3	C4	D2
männlich	Mittelwert	,5308	8,000E-03	,3716	6,400E-02	,0000	8,800E-03	6,400E-03	,0000	1,600E-03	1,680E-02
	N	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125
	Standardabweichung	,4747	8,944E-02	,4514	,1840	,0000	6,601E-02	7,155E-02	,0000	1,789E-02	9,113E-02
weiblich	Mittelwert	,5488	,0000	,3584	2,880E-02	1,600E-03	3,040E-02	,0000	6,400E-03	1,600E-03	2,400E-02
	N	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125
	Standardabweichung	,4754	,0000	,4506	9,230E-02	1,789E-02	,1586	,0000	7,155E-02	1,789E-02	,1308
insgesamt	Mittelwert	,5398	4,000E-03	,3650	4,640E-02	8,000E-04	1,960E-02	3,200E-03	3,200E-03	1,600E-03	2,040E-02
	N	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250
	Standardabweichung	,4742	6,325E-02	,4501	,1463	1,265E-02	,1217	5,060E-02	5,060E-02	1,785E-02	,1126

Tabelle 7.3.19 Verteilung der durch 50 Untersucher mit *DSG 4* gemessenen Farbanteile für Zahn 21 des Probanden B bei jeweils 5 Messungen pro Untersucher, geschlechtsspezifisch aufgeteilt

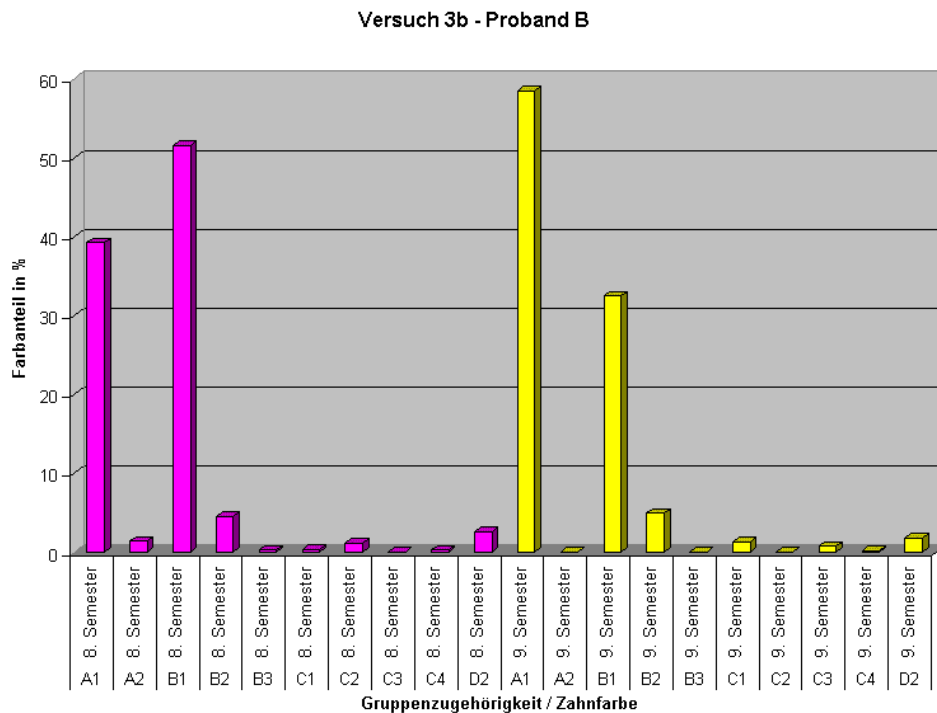
Betrachtet man die Messergebnisse nach der Gruppierung der Farbmessenden eingeteilt, zeigt sich, dass die Studenten des achten Semesters Messungen durchführten, die zu 51,57% B1 und zu 39,29% A1 als Zahnfarbanteile sahen. Im Gegensatz dazu stehen die Ergebnisse, die vom neunten Semester, den Zahnarzhelferinnen und den Zahnärzten geliefert wurden. In diesen drei Gruppen war die Verteilung dergestalt, dass A1 als häufigster Anteil angegeben wurde. Die Messungen der Studenten des neunten Semesters ergaben 58,57% für A1, 32,48% für B1, die der Zahnarzhelferinnen 76% für A1 und 15% für B1, die der Zahnärzte 51,44% für A1 und 36,78% für B1.

Die weiteren und zahlenmäßig geringeren Farbanteile in den Messungen des achten Semesters waren B2 mit 4,5%, D2 mit 2,57%, A2 mit 1,43%, C2 mit 1,14%, C1 mit 0,36% und B3, sowie C4 mit 0,29%. C3 wurde nicht gemessen.

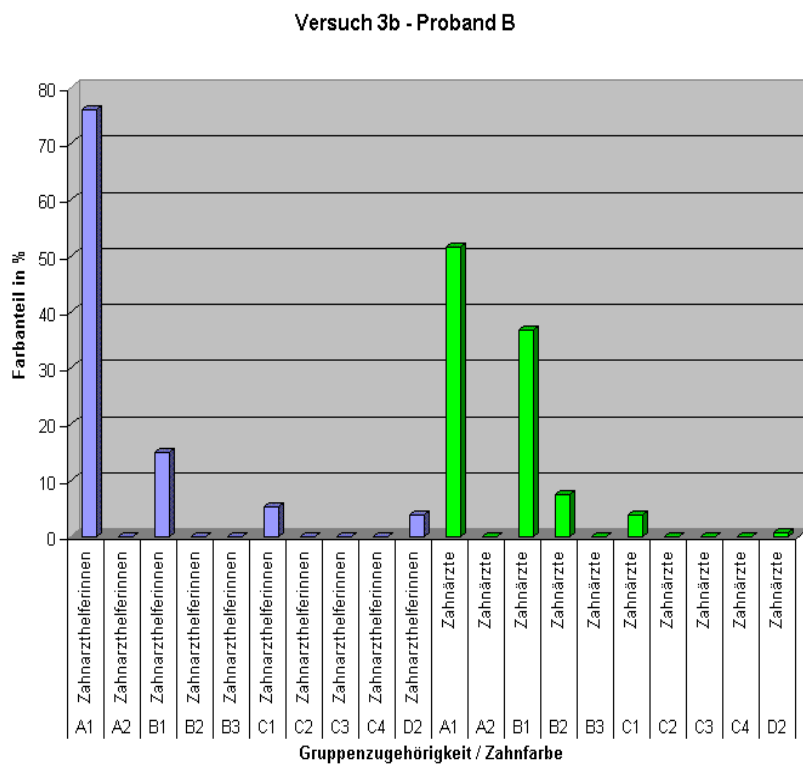
Die Studenten des neunten Semesters bestimmten anteilig B2 mit 4,91%, D2 mit 1,76%, C1 mit 1,33%, C3 mit 0,76%, C4 mit 0,19%. A2, B3 und C2 wurden nicht gemessen.

Die Zahnarzhelferinnen lieferten für C1 5,17% und für D2 3,83%. Diese Gruppe führte keine Messungen durch, die im Ergebnis Farbanteile von A2, B2, B3, C2, C3 oder C4 enthalten hätten.

Die Messungen der Zahnärzte lieferten weiterhin Farbanteile von 7,33% für B2, 3,78% für C1 und 0,67% für D2. A2, B3, C2, C3 und C4 wurden von den Zahnärzten nicht gemessen.



Graphik 7.3.13a Verteilung der durch 50 Untersucher mit *DSG 4* gemessenen Farbanteile für Zahn 21 des Probanden B bei jeweils 5 Messungen pro Untersucher, aufgeteilt nach Gruppenzugehörigkeit (8. und 9. Semester)



Graphik 7.3.13b Verteilung der durch 50 Untersucher mit *DSG 4* gemessenen Farbanteile für Zahn 21 des Probanden B bei jeweils 5 Messungen pro Untersucher, aufgeteilt nach Gruppenzugehörigkeit (Zahnarztthelferinnen und Zahnärzte)

Bericht											
Gruppenzugehörigkeit		A1	A2	B1	B2	B3	C1	C2	C3	C4	D2
8.Semester	Mittelwert	,3929	1,429E-02	,5157	4,500E-02	2,857E-03	3,571E-03	1,143E-02	,0000	2,857E-03	2,571E-02
	N	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70
	Standardabweichung	,4682	,1195	,4639	,1885	2,390E-02	2,140E-02	9,562E-02	,0000	2,390E-02	,1160
9.Semester	Mittelwert	,5857	,0000	,3248	4,905E-02	,0000	1,333E-02	,0000	7,619E-03	1,905E-03	1,762E-02
	N	105	105	105	105	105	105	105	105	105	105
	Standardabweichung	,4612	,0000	,4482	,1139	,0000	,1001	,0000	7,807E-02	1,952E-02	,1083
Zahnarzt- helferinnen	Mittelwert	,7600	,0000	,1500	,0000	,0000	5,167E-02	,0000	,0000	,0000	3,833E-02
	N	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
	Standardabweichung	,4280	,0000	,3439	,0000	,0000	,1967	,0000	,0000	,0000	,1760
Zahnärzte	Mittelwert	,5144	,0000	,3678	7,333E-02	,0000	3,778E-02	,0000	,0000	,0000	6,667E-03
	N	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45
	Standardabweichung	,4817	,0000	,4300	,1805	,0000	,1800	,0000	,0000	,0000	4,472E-02
insgesamt	Mittelwert	,5398	4,000E-03	,3650	4,640E-02	8,000E-04	1,960E-02	3,200E-03	3,200E-03	1,600E-03	2,040E-02
	N	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250
	Standardabweichung	,4742	6,325E-02	,4501	,1463	1,265E-02	,1217	5,060E-02	5,060E-02	1,785E-02	,1126

Tabelle 7.3.20 Verteilung der durch 50 Untersucher mit *DSG 4* gemessenen Farbanteile für Zahn 21 des Probanden B bei jeweils 5 Messungen pro Untersucher, aufgeteilt nach Gruppenzugehörigkeit

Die Auswertung des *Cohen-Kappa*-Koeffizienten ergab einen Wert von 0,914 für den interindividuellen Unterschied bei der Bestimmung des Farbtons für Proband B.

Proband B - Farbton					
Symmetrische Maße					
		Wert	Asymptotischer Standardfehler(a)	Näherungsweise T(b)	Näherungsweise Signifikanz
Maß der Übereinstimmung	Kappa	,914	,008	52,344	,000
Anzahl der gültigen Fälle		2500			
a Die Null-Hyphothese wird nicht angenommen.					
b Unter Annahme der Null-Hyphothese wird der asymptotische Standardfehler verwendet.					

Tabelle 7.3.21 Geschlechtsspezifischer interindividueller Unterschied für die Farbtonbestimmung des Zahnes 21 des Probanden B ausgedrückt durch den *Cohen-Kappa*-Koeffizienten

Abweichend vom Wert für den Farbton konnte ein *Cohen-Kappa*-Koeffizient von 0,739 für die geschlechtsspezifische Farbhelligkeitsbestimmung errechnet werden.

<b>Proband B - Farbhelligkeit</b>					
<b>Symmetrische Maße</b>					
		<b>Wert</b>	<b>Asymptotischer Standardfehler(a)</b>	<b>Näherungsweise T(b)</b>	<b>Näherungsweise Signifikanz</b>
<b>Maß der Übereinstimmung</b>	<b>Kappa</b>	,739	,025	40,602	,000
<b>Anzahl der gültigen Fälle</b>		2500			
a Die Null-Hypothese wird nicht angenommen.					
b Unter Annahme der Null-Hypothese wird der asymptotische Standardfehler verwendet.					

Tabelle 7.3.22 Geschlechtsspezifischer interindividueller Unterschied für die Farbhelligkeitsbestimmung des Zahnes 21 des Probanden B ausgedrückt durch den *Cohen-Kappa*-Koeffizienten

Die Versuchsserie 3b) konnte zeigen, dass sich die erhobenen Daten weitgehend mit den beobachteten Ergebnissen der Versuchsreihen 1 und 2 deckten. Für diese Versuchsserie 3b) wurde der Versuchsaufbau aus Versuchsserie 1 prinzipiell übernommen und die dort gewonnenen Ergebnisse konnten tendenziell Bestätigung finden. Deutlich wird dies vor allem am Beispiel des Probanden A. Der Anteil der in Versuchsserie 1 am meisten bestimmte Zahnfarbe A1 wurde durch die größere Anzahl an durchgeführten Messungen nochmals angehoben. Im Kontext mit dem Ergebnis aus Versuchsserie 2, das als Goldstandard dienen sollte, wird deutlich, dass die durch *DSG 4* angegebenen Zahnfarben weitgehend unabhängig vom Benutzer sind. Allerdings ist weiterhin festzustellen, dass nur die unverrückbare Messsondenspitze, wie sie in Versuchsserie 2 verwendet wurde, die beste Reproduzierbarkeit der Ergebnisse gewährleistet. Nicht ganz so eindeutig, aber in der Tendenz bestätigt, ist der Vergleich der Versuchsserien für Proband B. In Versuchsserie 1 und 2 dominierten die Farbanteile der Farbe B1, in Versuchsserie 3b) dagegen wurde ein höherer Anteil A1 und ein geringerer B1 gemessen. Dies lässt den Schluss zu, dass die 50 *DSG 4* Benutzer aus Versuchsserie 3b) größere räumliche Abweichungen vom Messpunkt auf der Zahnmitte hatten, als dies in Versuchsserie 1 der Fall war, in der ein Proband alle Messungen durchführte. Aus dieser Beobachtung wird nochmals bestätigt, dass gerade wegen der heterogenen Farbgestaltung eines natürlichen Zahnes eine Unverrückbarkeit der Messsondenspitze am Zahn für eine ausreichende Reproduzierbarkeit notwendig ist.

## 8. Diskussion

Ziel der Studie war es herauszustellen, ob sich Vor- oder Nachteile aus der Verwendung des instrumentellen Farbbestimmungsgerätes *DSG 4* bei der Zahnfarbbestimmung ergeben. Besonderes Augenmerk wurde auf die Wiedergabegenauigkeit von *DSG 4* unter unterschiedlichen Lichtbedingungen, die Reproduzierbarkeit der gemessenen Werte, sowie auf die Unterschiede zur konventionellen Zahnfarbbestimmung gelegt.

In der Versuchsserie 1 -Farbmessung mit *DSG 4* an den Zähnen 21 zweier Probanden unter verschiedenen Lichteinflüssen- wurde deutlich, dass sich die gemessenen Farben in der Farbverteilung unter variablen Lichteinflüssen nur geringgradig voneinander unterscheiden. So lagen die Werte für den Hauptfarbanteil des Probanden A zwischen anteilig 58,4% bei normalem Tageslicht, bei 62,4% unter dem Licht der Behandlungsleuchte und bei 63,8% bei Verwendung der Tageslichtlampe. Auch die anteilig geringer als Zahnfarbanteil gemessenen Werte unterscheiden sich zu maximal  $\pm 10,2\%$ .

Bei Proband B lagen die durchschnittlichen Messwerte noch etwas dichter beieinander. Der dominierende Farbanteil wurde zwischen 53,6% bei Verwendung der Tageslichtlampe, 54% unter dem Einfluss der Behandlungsleuchte und zu 56,4% unter normalem Tageslicht gemessen. Die Streuung des an zweiter Stelle stehenden Farbtonanteils schwankte zwischen 19,2% und 20,4%.

Die Ergebnisse der Versuchsserie 1 waren vergleichbar mit denen aus Versuchsserie 2. Hier wurden die Messungen jeweils an den gleichen Stellen der beiden Zähne 21 vorgenommen, was durch Verwendung einer Bissschiene gesichert wurde. Es trat deutlich zu Tage, dass die Reproduzierbarkeit des *DSG 4* hoch war. Ein eindeutiges Ergebnis ergaben die Messungen an Proband A. Im Ergebnis wurde eine reine Zahnfarbe (A1) angegeben. Bei keiner Messung unter den unterschiedlichen Lichteinflüssen gab es Abweichungen. Die Reproduzierbarkeit der Messergebnisse war auch bei Proband B sehr hoch. Hier wurden allerdings keine reinen Farben, sondern meist Mischwerte angegeben. Es dominierte deutlich die Farbe B1, die unter normalem Tageslichteinfluss bei 95,6% und bei Einfluss einer Tageslichtlampe bei 91,2% lag. Die Verwendung der Behandlungsleuchte ergab einen Wert von 84,6%. Als zweiter Farbanteil wurden die Farben A1, B2, C1 und D2 mit Farbanteilen unter 12,2% ermittelt.



Abweichungen diesen Ausmaßes wären in der Praxis vernachlässigbar. Während des Herstellungsprozesses eines Zahnersatzes aus Mischfarben ist es in der täglichen Praxis eines Zahntechnikers unter den gegebenen Umständen nur schwer möglich die Keramikmassen derart exakt zu mischen. Außerdem wäre es schwierig diese am vorgesehenen Ort der restaurativen Arbeit in solch einem exakten Mischungsverhältnis zu applizieren. So ist davon auszugehen, dass die Angaben der Farbbestimmung eher als Richtwerte für den Zahntechniker zu sehen sind, etwa in der Art, dass eine Mischung von  $\frac{3}{4}$  einer Farbe zu  $\frac{1}{4}$  einer anderen Farbe anzustreben ist. Ebenso gilt als eher unwahrscheinlich, dass eine Beimischung von unter 10% einer Keramikmasse mit bloßem Auge deutlich wahrnehmbar ist.

Im Vergleich zur Versuchsserie 1 wird deutlich, dass sich die Farbwerte bei Verwendung der Bisschiene deutlicher um einen bestimmten Farbton konzentrieren. Es gibt weniger Messungen, in denen deutlich andere Farbmischungen angegeben werden.

Aus den empirisch gewonnenen Ergebnissen ist ersichtlich, dass sich die Reproduzierbarkeit durch einen fixen Messpunkt erhöht. Dieses Phänomen lässt sich dadurch erklären, dass der natürliche Zahn Unterschiede in der Farbverteilung aufweist. Diese Beobachtung wird auch durch die im Kapitel *Physiologische Grundlagen* erwähnte Studie von O'Brien (1997) gedeckt. Auch Bos (1986), Goodkind et al. (1987) und Schwabacher et al. (1990) bestätigten, dass die Zahnfarbe eines nicht einheitlich strukturierten Zahnes am besten vom Zahnzentrum repräsentiert werde, weswegen dieses zur Farbbestimmung herangezogen werden sollte. Wenn man eine Messung in der Mitte eines Zahnes ohne apparative Hilfe durchführt, wird man während mehrerer Messversuche geringgradige, jedoch vorhandene Abweichungen an der Messstelle feststellen können. Diese Abweichungen wurden mit Hilfe der Bisschiene beseitigt und zeigten eine akzeptable Reproduzierbarkeit der Messergebnisse durch *DSG 4*. Diese Beobachtungen stimmen mit einer Untersuchung von Setz et al. aus dem Jahre 1992 überein.

Setz et al. untersuchten mittels des instrumentellen Farbbestimmungsgerätes *Castor* einen *Biodent* Musterzahn 21. Das Gerät habe die korrekte Zahnfarbe ausschließlich in der Zahnmitte wiedergegeben, Messungen an Zahnhals und Zahnschneide hatten farblich abweichende Ergebnisse geliefert. Setz et al. begründeten diese Tatsache damit, dass der künstliche Musterzahn -ebenso wie ein natürlicher Zahn- an Zahnschneide und Zahnhals aus abweichenden Farben bestehe, um ein natürliches Aussehen zu gewährleisten.

Im Resümee wird durch die Versuchsserien 1 und 2 die Herstellerangabe, *DSG 4* arbeite von Umgebungseinflüssen unabhängig, bestätigt.

Die Versuchsserie 3 sollte an die Bedürfnisse der täglichen Praxis angelehnt werden. Es sollten die Unterschiede der herkömmlichen Farbbestimmung zu der Farbbestimmung durch *DSG 4* ausgearbeitet werden. In diesem Teil der Studie sollte der Schwerpunkt auf die Reproduzierbarkeit der Farbbestimmung gelegt werden. Aus diesem Grund wurde die hohe Anzahl von 50 Studienteilnehmern gewählt, welche die beiden Zähne 21 zweier Probanden sowohl mit einem herkömmlichen *Vitapan Classical* Farbring, als auch mit *DSG 4* bestimmen sollten. Es zeigte sich, dass mit der herkömmliche Methode die Bandbreite der Farbauswahl für den gleichen Zahn sehr hoch war. Es wurden Zahnfarben aus nahezu dem gesamten Spektrum des *Vitapan Classical* Farbringes ausgewählt. Die dominierende Farbauswahl war mit etwa einem Viertel bis zu einem Drittel der in der Gesamtheit gewählten Farben deutlich zu geringfügig um in der täglichen Praxis eine verlässliche Farbangebe zu gewährleisten. Durch die Verwendung von *DSG 4* wurden im Gegensatz dazu deutliche Präferenzen angegeben. So schwankt die herkömmliche Farbwahl mittels eines Farbringes für Proband A zwischen vier mehrheitlich ausgewählten Zahnfarben (C2 24%, A3 22%, B2 und D4 16%). Mit *DSG 4* dominiert dagegen A1 mit 72,42%. Die restlichen Farbwerte liegen deutlich unter 10%. Ähnlich verlief die Zahnfarbbestimmung an Proband B. Die herkömmliche Farbwahl schwankte zwischen vier Werten: C1 mit 32%, B2 mit 18%, D2 mit 14% und A1 mit 12%. Hier ist also eine Präferenz zur Zahnfarbe C1 auszumachen. Allerdings wählten 68% der Farbbestimmer eine andere Zahnfarbe aus. Messungen mit *DSG 4* ergaben mehrheitlich eine Mischung aus A1 und B1 (53,98% und 36,5%). Die anderen bestimmten Farben lagen unter 5%.

In den Messungen mit *DSG 4* konnte man keine wesentlichen Unterschiede zwischen den Geschlechtern, oder der Gruppenzugehörigkeit der Messenden ausmachen. *DSG 4* scheint unabhängig vom Benutzer reproduzierbare Ergebnisse zu erzeugen.

Die herkömmliche Farbwahl hingegen lässt Geschlechterunterschiede und Unterschiede der Zahnfarbbestimmung von Angehörigen verschiedener Gruppen deutlich zu Tage treten. So unterschied sich die von Frauen bzw. Männern am häufigsten ausgewählte Zahnfarbe für beide Probanden deutlich. Auch Gruppenabhängig gab es derart immense Schwankungen, so dass nicht von einer einheitlichen Farbwahl gesprochen werden kann. Eine von Donahue et al. 1991

veröffentlichte Untersuchung zum geschlechterspezifischen Unterschied in der Farbauswahl attestierte Männern eine Übereinstimmung in der Farbwahl von durchschnittlich 63% und Frauen von 58%. Diese Beobachtung von Donahue et al. konnte in dieser Studie nicht bestätigt werden. Die Farbbestimmung an Proband A lieferte als Ergebnis, dass die von den weiblichen Studienteilnehmern ausgesuchte Zahnfarbe mit der höchsten Übereinstimmung 32% betrug (A3), die der männlichen jedoch nur 28% (C2). Die herkömmliche Farbbestimmung am Schneidezahn des Probanden B hingegen zeigte eine höhere Übereinstimmung der männlichen Studienteilnehmer (48% für die Farbwahl C1). Die weiblichen Farbbestimmenden hingegen stimmten nur zu 24% im Hinblick auf die am häufigsten von ihnen ausgesuchten Zahnfarbe (B2) überein. So tendieren die in dieser Studie ermittelten Werte für die Übereinstimmung der ausgewählten Zahnfarbe eher zu den Ergebnissen einer Studie von Culpepper aus dem Jahre 1970. Dieser ließ 37 Studienteilnehmer sechs natürliche Zähne unter vier Lichtbedingungen und mit Hilfe vier unterschiedlicher Farbringe bestimmen. Im Ergebnis dieser Studie gab er die höchste Übereinstimmung in der Farbwahl für einen Zahn unabhängig des Geschlechts mit 39% an.

In den letzten Jahren wurden bezüglich des individuellen Farbempfindens vor allem Untersuchungen angestrebt, die einen Farbvergleich anhand von Farbplättchen, bzw. Farbringen vornahmen. Untersuchungen dieser Art sind im Hinblick auf die hier durchgeführte Versuchsserie 3 als Tendenz zu sehen, inwieweit ein Farbbestimmer überhaupt in der Lage ist, zwei gleiche Farben zu erkennen und entsprechend zuzuordnen. Der Unterschied zwischen Studien, die verschiedene Sets Farbplättchen, bzw. Farbringen miteinander vergleichen, zu dieser Studie, in der mit einem Farbring die Farbe eines natürlichen Zahnes bestimmt werden soll, liegt darin, dass in erst genannten Studien die Farbwahl eindeutig als richtig oder falsch bewertet werden kann. In dieser Versuchsserie 3 ist es dagegen nicht möglich die Farbzusordnungen dergestalt zu klassifizieren, da bisher keine Methode vorliegt, die eine verlässliche Farbbestimmung an einem natürlichen Zahn garantiert. Barna et al. ließ 1981 von 50 Zahnärzten bei unterschiedlichen Beleuchtungsbedingungen aus zwei identischen Farbplättchensets die Farben zuordnen. Dabei sollten fünf aus einem Set entnommene Plättchen dem anderen, vollständigen Set, zugeordnet werden. Im Ergebnis ordneten Studienteilnehmer mit weniger als zehn Jahren Berufserfahrung durchschnittlich 46% der Plättchen richtig zu, Studienteilnehmer mit längerer Berufserfahrung jedoch nur durchschnittlich 40%. Auch in Versuchsreihe 3a)

konnte das Phänomen, dass berufserfahrenere Studienteilnehmer eine größere Bandbreite verschiedener Farben aussuchten, als die Studenten des 8. und 9. Semesters festgestellt werden. Die Erklärung für diese Beobachtung ist offensichtlich darin begründet, dass berufsunerfahrene Farbnehmer eher intuitiv die richtige Farbe auswählen. Beobachtungsgemäß benötigen Studienteilnehmer mit mehr Berufserfahrung länger für die Farbauswahl, überdenken ihre Farbauswahl gründlicher und schwanken häufiger zwischen einer Auswahl von vermeintlich passenden Farben. Offensichtlich ist der schnellere, intuitive Farbvergleich auch der treffsicherere. In diesem Zusammenhang legten Anusavice et al. (1995) eine Studie vor, in der 140 Probanden ein Farbplättchen aus Keramikmassen der Firma *Vita* dem entsprechenden Farbplättchen aus einer Auswahl von 12 verschiedenfarbigen Plättchen zuordnen sollten. Im Ergebnis ordneten die Studenten der klinischen Semester auch hier mit 59,2% am häufigsten das Plättchen entsprechend richtig zu. Zahnärzte und Studenten der vorklinischen Semester tätigten nur zu 57,5, bzw. 56,7% eine richtige Zuordnung.

In weiteren Untersuchungen von Faber et al., die im Zeitraum zwischen 1995 und 1999 veröffentlicht wurden, wurde gegensätzlich zu den aufgeführten Studien die höhere Rate an richtigen Farbzusordnungen den Zahntechnikern zugesprochen. Der Aufforderung zehn Keramikzähne der *Vita-Lumin*-Farbskala einander zuzuordnen kamen die vor allem mit Keramikarbeiten beauftragten Zahntechniker mit durchschnittlich  $7,9 \pm 1,6$  richtigen Zuordnungen und die Studenten mit durchschnittlich  $4,9 \pm 2,0$  richtigen Zuordnungen nach. Ein Vergleich mit dem instrumentellen Farbmessgerät *Castor* lieferte im Durchschnitt  $5,6 \pm 3,0$  richtige Zuordnungen. Auch den Versuch zehn kodierte Farbmuster einem vollständigen Farbring der *Vita-Lumin*-Farbskala zuzuordnen, beendeten die Zahntechniker mit der höchsten Treffsicherheit. Sie ordneten durchschnittlich  $8,0 \pm 1,6$  der Farbmuster richtig zu. Zahnärzte tätigten  $5,7 \pm 2,2$  richtige Zuordnungen, Zahnmedizinstudenten und Zahnarzhelferinnen  $4,9 \pm 2,0$ , bzw.  $4,7 \pm 1,8$  richtige Zuordnungen.

Im Vergleich weniger korrekte Zuordnungen ergaben die Untersuchungen von Okubo et al. (1998). In dieser Studie sollten zwei *Vita-Lumin*-Farbringe einander entsprechend passend zugeordnet werden. Im Mittel ordneten die Farbbestimmer 48% der Farben richtig zu, das instrumentelle Farbmessgerät *Colortron II* jedoch 50%.

Durch die Erhebung des *Cohen-Kappa*-Koeffizienten konnte in Versuchsserie 3 verdeutlicht werden, dass die interindividuelle Übereinstimmung der weiblichen zu

den männlichen Untersuchern tendenziell bei Verwendung des instrumentellen Farbmessgerätes *DSG 4* höher ausfiel. Insbesondere die Messungen am Schneidezahn des Probanden B zeigten deutlich höhere Werte dieses Koeffizienten bei Benutzung des *DSG 4*. So wurde die interindividuelle Übereinstimmung für Bestimmungen des Farbtons bei diesem Probanden zu 0,628 bei Farbabgleich mit Hilfe des *Vita*-Farbringes und zu 0,914 für Messungen durch *DSG 4* errechnet. Die interindividuelle Übereinstimmung belief sich im Falle der Helligkeitswerte dieses Probanden auf 0,293 bei Farbabgleich mit dem *Vita*-Farbring und 0,739 bei Farbbestimmungen durch *DSG 4*. Auch die Farbtonbestimmung an Proband A bestätigt die höhere Übereinstimmung für die vorgenommenen Messungen mit *DSG 4*. Bei der herkömmlichen Farbwahl wurde ein *Cohen-Kappa*-Koeffizient von 0,372 errechnet. Die instrumentelle Farbbestimmung lieferte dagegen eine Übereinstimmung von 0,521. Auffällig ist jedoch die Bestimmung der Helligkeitswerte am Zahn des Probanden A. So wurde eine Übereinstimmung in der Helligkeitswahl der Geschlechter mit dem *Vita*-Farbring von 0,878 und von 0,725 -und damit etwas geringer ausfallend- für Messungen durch *DSG 4* ermittelt. Die geringgradig höhere Übereinstimmung der beiden Geschlechter für die Helligkeitsbestimmung am Zahn 21 des Probanden A lässt sich aus der Tatsache erklären, dass die Farbwahl mit der herkömmlichen Methode zwar eine sehr hohe Streuung aufwies, was die Realisierung einer prothetischen Restauration mit Grundlage dieser Vorgaben nahezu unmöglich erscheinen lässt, die Helligkeitswerte aber unabhängig von der Gesamtfarbwahl ähnlich verteilt waren. Bei Verwendung des *DSG 4* durch die beiden Geschlechter war die Farb- und Helligkeitswahl für die Farbkomponente A1, die statistisch zu nahezu  $\frac{3}{4}$  der Gesamtfarbe ermittelt wurde, nur irrelevant unterschiedlich. Allerdings unterschieden sich die Farb- und damit die Helligkeitsbestimmungen derjenigen Farben zwischen den Geschlechtern deutlicher, die zu unter einem Prozent, respektive im Bereich von wenigen Prozenten ermittelt wurden. Durch die Ergebnisse der Versuchsserien 1 und 2 lassen sich diese geringeren durch *DSG 4* ermittelten Farbwerte durch die Tatsache erklären, dass die Untersucher die Messsonde nicht immer an der gleichen Stelle angesetzt haben. Weiterhin wären, wie bereits erwähnt wurde, Farbanteile in diesen geringen Prozentsätzen klinisch vernachlässigbar. In der Gesamtheit dieser Betrachtungen darf daher die Folgerung aufgestellt werden, dass die geschlechtsspezifische interindividuelle Übereinstimmung bei Messungen mit *DSG 4* im Vergleich zur herkömmlichen Farbbestimmung mit Hilfe eines *Vita*-Farbringes höher ausfällt.

Die Versuchsserie 3 lässt daher die Folgerung zu, dass auf herkömmlichem Wege von verschiedenen Farbbestimmenden auch deutlich unterschiedliche Farben ausgewählt werden. In der Literatur wurde von mehreren Autoren bemängelt, dass herkömmliche Farbringe nur ein deutlich limitiertes Spektrum an Zahnfarben bereitstellen [van der Burgt 1985, Culpepper 1970, Grajower et al. 1976, Goodkind et al. 1987, Schriever et al. 1993, Shotwell et al. 1986, Okubo et al. 1998]. Es besteht somit die Möglichkeit, dass keine der durch den *Vitapan Classical* Farbring angebotenen Farben die Zahnfarbe des Probandenzahnes entsprechend gut wiedergab und daher die nächst passende Farbe in der einen oder anderen Farbton-, bzw. Helligkeitsrichtung der Farbskala ausgewählt wurde. Die Software des *DSG 4* dagegen ist in der Lage Mischfarben anzugeben und kann daher auf ein größeres Repertoire an möglichen Farben zurückgreifen. Aufgrund dieses Sachverhaltes könnten Schwankungen in der herkömmlichen Farbwahl und damit eine schlechtere Reproduzierbarkeit im Vergleich zur instrumentellen Farbbestimmung vorhanden sein. Einen größeren Anteil an der breiteren Streuung der Ergebnisse der herkömmlichen Farbbestimmung haben aber sicherlich die viel diskutierten subjektiven Einflüsse des Farbbestimmers. In dieser Versuchsserie trat das unterschiedliche Farbempfinden zwischen den einzelnen farbnehmenden Studienteilnehmern deutlich hervor. Dadurch konnten die bereits in der Literaturübersicht vorgestellten Studien von Bangtson et al. 1982, Burgt, van der 1990, Faber et al. 1999, Lund et al. 1985, Obregon et al. 1981, Okubo 1998 und Sproull 1973b bestätigt werden.

Man kann davon ausgehen, dass bei Messungen mit *DSG 4* von verschiedenen Messenden deutlich reproduzierbarere Ergebnisse zu erhalten sind. Die personen- und geschlechtsabhängigen Unterschiede in der Farbbestimmung sind durch die instrumentelle Farbbestimmung nahezu ausschaltbar. Dies muss eindeutig als Vorteil gewertet werden.

Auffällig ist weiterhin, dass auf konventionellem Wege eher zu dunkleren Farben gegriffen wurde als bei Messungen mit *DSG 4*. Die Farbbestimmenden gaben für Proband A bei Verwendung des *Vitapan Classical* Farbringes häufig die Farben C2, A3, B2 und sogar D4 an, wobei *DSG 4* die Zahnfarbe A1 bestimmte. Eine ähnliche Situation ergibt sich am Beispiel des Probanden B: Hier wurden häufig die Farben C1, B2, D2, aber auch A1 ausgewählt. Messungen mit *DSG 4* ergaben mehrheitlich A1 und B1.

Abschließend bleibt anzumerken, dass kein Beweis dafür angetreten werden konnte, auf welchem Wege eine dem Original am nächsten kommende Zahnfarbe zugeordnet werden kann. Die Schwankungen zwischen den auf konventionellem Wege bestimmten Zahnfarben lassen nur schwerlich den Schluss zu, dass die am häufigsten ausgewählte Zahnfarbe auch im Falle der Restauration des einzelnen Schneidezahnes die passende Zahnfarbe darstellt. Genauso verhält es sich auch für die durch *DSG 4* getroffene Auswahl.

Weitere Studien, von denen eine zeitgleich an der Universität Giessen durchgeführt wurde, müssen noch den Beweis antreten, auf welchem Wege die am besten passende Zahnfarbe ermittelt werden kann. Allerdings wurde durch die hier durchgeführten Versuchsserien eindeutig die bessere Reproduzierbarkeit von Zahnfarben der instrumentellen Farbbestimmung durch *DSG 4* zugesprochen. Beachtung finden sollte, dass die Reproduzierbarkeit des *DSG 4* nochmals deutlich erhöht wird, wenn bei jeder Messung die exakt gleiche Position an dem zu bestimmenden Zahn eingehalten wird. Da diese instrumentelle Art der Farbbestimmung erwiesenermaßen relativ unabhängig von äußeren Faktoren agiert und subjektive, menschliche Fehler in der Farbwahl ausscheiden, könnte ein solches Gerät zukünftig seine Berechtigung in wissenschaftlichen Studien finden. Sollte sich anhand weiterer Studien darüber hinaus noch feststellen lassen, dass auch die so bestimmte Zahnfarbe der natürlichen besser ähnelt, als die auf herkömmlichem Wege bestimmte, wäre diese neue Technik der instrumentellen Farbbestimmung auch für die tägliche Zahnfarbbestimmung in der zahnärztlichen Praxis interessant.

## 9. Zusammenfassung

*DSG 4* stellt eine einfache und von jedermann zu bedienende Weiterentwicklung der Zahnfarbbestimmung dar. Es ist möglich, nahezu beliebig viele Stellen eines Zahnes zu untersuchen. Die gewonnenen Messwerte werden übersichtlich auf einem Messprotokoll aufgeführt und optimieren die Kommunikation zwischen Zahnarzt und Zahntechniker.

Die herkömmliche Methode der Zahnfarbbestimmung zeigt, dass es große individuelle Unterschiede zwischen einzelnen farbbestimmenden Untersuchern gibt. Da das Farbsehen, das Farbempfinden und der Farbvergleich individuell unterschiedlich ausgeprägt sind, werden für einen Zahn mehrere verschiedene Farboptionen angegeben. Dies zeigt auch der Vergleich der bestimmten Farben zwischen den Geschlechtern, bzw. zwischen Untersucherkollektiven verschiedener Gruppen wie Studenten des 8. und 9. Semesters, Zahnärzthelferinnen und Zahnärzten. Dieses Problem der individuell unterschiedlich ausgeprägten Farbwahl wird mit Hilfe von *DSG 4* nahezu umgangen.

*DSG 4* arbeitet unabhängig von Umgebungseinflüssen, auch Unterschiede durch die messenden Personen sind nur marginal nachweisbar. Besonders für Behandelnde, die in ihrer Farbwahl unsicher oder farbfehlsichtig sind, ist somit *DSG 4* ein geeignetes Hilfsmittel. Für wissenschaftliche Studien, in denen Wert auf eine hohe Reproduzierbarkeit der erhobenen Daten gelegt wird, ist *DSG 4* besser geeignet, als ein farbbestimmendes Probandenkollektiv.

Abschließend soll noch angemerkt werden, dass während der Versuche festgestellt werden konnte, dass die Verwendung von *DSG 4* nicht unbedingt einen Zeitgewinn darstellt. Außerdem ist die Anschaffung eines solchen Gerätes mit einem erheblichen Kostenaufwand verbunden.



## 10. Abstract

The *DSG 4* device is a simple and easy-to-handle further development of tooth shade determination. It enables us to examine almost any spot of a tooth. The measurement data is presented on a well-elaborated protocol. The communication between the dentist and the technician is thus optimised.

The conventional method of shade matching depicts that there are enormous incongruencies referring to the individuals who match a shade. For instance, there are diversities which originate in the sex and in the professional status of the test person.

Since matching shades, seeing and comparing colour are developed subjectively and differently in each individual, the test persons assign various shades for the tooth examined. *DSG 4* helps avoid this problem.

*DSG 4* determines colour independently and free of any environmental influence. Furthermore heterogeneity in the measurements of the numerous test persons can only be proved minimally and can hence be neglected. Especially for colour-blinds and for the person who is insecure in matching a shade for a patient, the *Digital Shade Guide 4* represents an effective aid. The device is suitable for studies in which the focus lies on the aptness of reproduction referring to the measurement data. Rieth's *Digital Shade Guide 4* is in this case a far more suitable tool than a group of shade-matching test persons with diverse colour sense.

Finally employing *DSG 4* is not necessarily time-saving as propagated by the manufacturer. In addition, purchasing such a device goes in tandem with considerable initial cost.

## 11. Literatur

1. Anusavice, K. J.; Barrett, A. A.; Moorehead, J. E.  
Color/Shade matching performance of dental students and faculty dentists  
J Dent Res 74, 1995: 235
2. Bangston, L. K.; Goodkind, R. J.  
The conversion of Chromascan designations to CIE tristimulus values  
J Prosthet Dent 48, 1982: 610-617
3. Barna, G. J.; Taylor, J. W.; King, G.E.; Pelleu, G.B.  
The influence of selected light intensities on color perception within the  
color range of natural teeth  
J Prosthet Dent 46, 1981: 450-453
4. Baumann, M. A.; Schifferdecker, B.  
Farbbestimmung bei Dentalkeramiken  
Schweiz Monatsschr Zahnmed 104, 1994: 423-429
5. Bos, H.  
Die aufgemalte und/oder integrierte Anwendung des DTC-Farbsystemes  
Die Zahntechnik 44, 1986: 113-131
6. Burgt, van der, T.P.; Ten Bosch, J. J.; Borsboom, P. C. F.; Plasschaert, A. J.  
M.  
A New Method for Matching Tooth Colors with Color Standards  
J Dent Res May 1985: 837-841
7. Burgt, van der, T.P.; Ten Bosch, J. J.; Borsboom, P. C. F.; Kortsmid, W. J.P.M.  
A comparison of new and conventional methods for quantification of tooth  
color  
The Journal of Prosthetic Dentistry February 1990: 155-162
8. Culpepper, W. D.  
A comparative study of shade matching procedures  
J. Prosthet Dent 24, 1970: 166-173
9. Das internationale Zahntechnikermagazin 5,2001: 572-573  
Mit ShadeEye NCC® sieht man besser!
10. dental-labor, XLIX, Heft 10/2001: 1600  
Kinderleicht – sichere Farbbestimmung
11. Donahue, J. L.; Goodkind, R. J.; Schwabacher, W. B.; Aeppli, D.P.  
Shade color discrimination by men and women  
J Prosth Dent 65, 1991: 699-703

12. Faber, F.-J.; Schlegel, G.  
Visuelle und meßtechnische Zuordnung der Zahnfarbe  
Dtsch Zahnärztl Z 50, 1995: 661-663
13. Faber, F.-J.; Harften, S.  
Metrische Farbunterscheidung von Dentalkeramiken in Abhängigkeit vom  
Farbmeßgerät  
Dtsch Zahnärztl Z 53, 1998: 651-654
14. Faber, F.-J.; Schlegel, G.  
Einfluß von Farbtüchtigkeit, Geschlecht und Beruf auf die Zahnfarbauswahl  
Dtsch Zahnärztl Z 54, 1999: 281-283
15. Goodkind, R.J.; Keenan, K. M.; Schwabacher, W. B.  
A comparison of Chromascan and spectrophotometric color measurements of  
100 natural teeth  
J Prosth Dent 53, 1985: 105-109
16. Goodkind, R. J.; Schwabacher, W. B.  
Use of a fiber-optic colorimeter for in vivo color measurements of 2830 anterior  
teeth  
J Prosth Dent 58, 1987: 535-541
17. Goodkind, R. J.; Loupe, M. J.  
Teaching of color in predoctoral and postdoctoral dental education in 1988  
J Prosth Dent 67, 1992: 713-717
18. Grajower, R.; Revah, A.; Sorin, S.  
Reflectance spectra of natural and acrylic resin teeth  
J. Prosthet. Dent. 36, 1976: 570-579
19. Hammer, P.; Berg, Ch.; Schied, M.  
Erkennen - Erfassen - Reproduzieren / Die Analyse der Zahnschubstanz  
bezüglich Transparenz und Farbe  
Quintessenz Zahntechnik 18, 1992: 1539-1560
20. Hegenbarth, E. A.  
Monotonie oder Vielfalt - die Problematik konventioneller Farbsysteme in der  
Dentalkeramik  
Quintessenz Zahntechnik 18, 1992: 1303-1323
21. Heinenberg, B.-J.  
Chromascope – der Start in ein neues Farb-System  
Die Zahntechnik 47, 1990: 218-221
22. Henning, G.; Lohmiller, R. M.  
Probleme der Farbbestimmung in der Metallkeramik  
dental-labor XXX, Heft 3/82, 1982: 303-308

23. Hohmann, A.; Hielscher, W.  
Farbe und Farbwahrnehmung  
Lehrbuch der Zahntechnik Band 3, Quintessenz Verlag, 1987: 164-179
24. Ishikawa, Ta.; Ishikawa, Te.; Ohson, M.; Sekine, N.  
Trial manufacture of photoelectric colorimeter using optical fibers  
Bull Tokyo Dent Coll , Vol.10, 1969: 191-197
25. Jorgenson, M. W.; Goodkind, R. J.  
Spectrophotometric study of five porcelain shades relative to the dimensions of color, porcelain thickness, and repeated fillings  
J Prosthet Dent 42, 1979: 96-105
26. Kappert, H. F.; Bregler, C.  
Objektivierete Farbbestimmung von Farbringzähnen und natürlichen Zähnen  
Quintessenz Zahntechnik 18, 1992: 1279-1301
27. Lund, T. W.; Schwabacher, W. B.; Goodkind, R. J.  
Spectrophotometric study of the relationship between body porcelain color and applied metallic oxide pigments  
J Prosthet Dent 53, 1985: 790-796
28. Moser, J. B.; Wozniak, W. T.; Naleway, C. A.; Ayer, W. A.  
Color vision in dentistry: a survey  
J Am Dent Assoc, Vol 110, 1985: 509-510
29. Muia, P. J.  
Die Übertragung der Eigenschaften natürlicher Zähne in die Sprache der Keramik  
Die Quintessenz der Zahntechnik 4, 1982: 453-464
30. Musil, R.; Kittler, H.  
Ein Beitrag zur Objektivierung der Farbbestimmung in der Prothetik  
Zahn-, Mund- u. Kieferheilkund. 71, 1983: 477-484
31. Niederau, J.  
Berliner Zahntechnikertag  
Quintessenz Zahntechnik 18, 1992: 929-936
32. Obregon, A.; Goodkind, R. J.; Schwabacher, W. B.  
Effects of opaque and porcelain surface texture on the color of ceramometal restorations  
J Prosthet Dent 46, 1981: 330-340
33. O'Brien, W. J., Nelson, D. and Lorey, R. E.  
The assesment of chroma sensivity to porcelain pigments  
J Prosthet Dent Vol. 49, 1983: 63-66,
34. O'Brien, W. J., Groh, C. L.; Boenke, K. M.  
A one-dimensional color order system for dental shade guides  
Dental Materials 5, 1989: 371-374

35. O'Brien, W. J.; Hemmendinger, H.; Boenke, K. M.; Linger, J. B.; Groh, C. L.  
Color distribution of three regions of extracted human teeth  
Dental Materials 13, 1997: 179-185
36. Okubo, S. R.; Kanawati, A.; Richards, M. W.; Childress, S.  
Evaluation of visual and instrument shade matching  
J Prosth Dent Vol. 80, Nr.6, 1998: 642-648
37. Pizzamiglio, E.  
A color selection technique  
J Prosth Dent Vol. 66, Nr.5, 1991: 592-596
38. Reis, M.  
Farbe und Ästhetik in der restaurativen Zahnheilkunde  
zm 85, Nr. 22, 1995: 46-53
39. Schmidt, R. F.; Thews, G.  
Physiologie des Menschen  
Springer Verlag Berlin Heidelberg 27 Auflage, 1997
40. Schriever, A.; Rosiwal, S.; Becker, J.; Heidemann, D.  
Relative Farbbestimmung dentaler Werkstoffe unter Anwendung spektraler  
Reflexionsmessungen  
Dtsch Zahnärztl Z 48, 1993: 167-169
41. Schwabacher, W. B.; Goodkind, R. J.  
Three-dimensional color coordinates of natural teeth compared with three  
shade guides  
J Prosth Dent Vol 64 Nr.4, 1990: 425-431
42. Seghi, R. R.; Johnston, W. M.; O'Brien, W. J.  
Spectrophotometric analysis of color differences between porcelain systems  
J Prosth Dent Vol 56 Nr.1, 1986: 35-40
43. Setz, J.; Geis-Gerstorfer, J.; Weber, H.  
Objektive Zahnfarbbestimmung / Fehlerquellen werden ausgeschaltet  
dental-labor XL, Heft 4/92, 1992: 667-670
44. Shotwell, J. L.; Johnston, W. M.; Swarts, R. G.  
Color comparisons of denture teeth and shade guides  
J Prosth Dent Vol 56 Nr.1, 1986: 31-34
45. Solheim, T.  
Zahnfarbe und Altern  
Dtsch Zahnärztl Z 45, Heft 8, 1990: 436
46. Sproull R.C.  
Color matching in dentistry. Part I. The three-dimensional nature of color  
J Prosthet Dent 1973; 29: 446-24

47. Sproull R.C.  
Color matching in dentistry. Part II. Practical applications of the organization of color  
J Prosthet Dent 29, 1973: 556-66
48. Sproull R.C.  
Color matching in dentistry. Part III. Color control  
J Prosthet Dent 31, 1974: 146-154
49. Steger, E.  
Ästhetik mit dem neuen IPS- Empress Verfahren  
Die Zahntechnik 47, 1990: 214-221
50. Szep, S.; Gerhardt, T.; Heidemann, D.  
Objektivierte Farbbestimmung von "Schmelz- und Dentinkompositen" im Vergleich zur Vita-Farbpalette  
Dtsch. Zahnärztl. Z. 50, 1995: 217-223
51. Velhagen, K.; Broschmann, D.  
Tafeln zur Prüfung des Farbempfindens  
Georg Thieme Verlag Stuttgart, 28 Auflage 1989

# Anhang

## Appendix 1 – erhobene Daten zu Versuch 1

Proband A:

Messung	natürliches Tageslicht	Tageslichtlampe	Behandlungsleuchte
1	A1 100%	B1 100%	C1 70%; A1 30%
2	C1 75%; A1 25%	A1 50%; D2 50%	A1 100%
3	A1 65%; A2 35%	B1 100%	A1 100%
4	B2 80%; A1 20%	A1 70%; A2 30%	A1 70%; A2 30%
5	B1 100%	A1 100%	A1 70%; A2 30%
6	C1 65%; A1 35%	A1 80%; A2 20%	A1 100%
7	A1 50%; D2 50%	A1 100%	C1 65%; A1 35%
8	A1 100%	A1 80%; A2 20%	B2 70%; A1 30%
9	C1 65%; A2 35%	A1 65%; A2 35%	A1 70%; B2 30%
10	A1 100%	C1 75%; A1 25%	C1 95%; A2 5%
11	C1 75%; A2 25%	A1 100%	A1 100%
12	A1 65%; A2 35%	A1 100%	C1 75%; A1 25%
13	A1 100%	A1 75%; A2 25%	B2 75%; A1 25%
14	A1 50%; A2 50%	A1 100%	C1 90%; A2 10%
15	A1 100%	A1 100%	A1 70%; A2 30%
16	A1 75%; A2 25%	C1 60%; A1 40%	A1 100%
17	C1 90%; A2 10%	A1 75%; A2 25%	A1 100%
18	A1 85%; A2 15%	A1 100%	A1 100%
19	A1 100%	C1 85%; A2 15%	A1 70%; A2 30%
20	A1 80%; A2 20%	A1 80%; A2 20%	A1 90%; A2 10%
21	A1 65%; A2 35%	C1 75%; A2 25%	B2 80%; A1 20%
22	A1 100%	A1 80%; A2 20%	A1 75%; A2 25%
23	A1 100%	C1 75%; A1 25%	A1 100%
24	C1 80%; A1 20%	A1 75%; A2 25%	A1 80%; A2 20%
25	B2 75%; A1 25%	A1 75%; A2 25%	C1 95%; A2 5%

Tabelle A 1.1 Messergebnisse des durch *DSG 4* gemessenen Zahnes 21 des Probanden A; die Kalibrierung der Messeinrichtung erfolgte alle 5 Messungen.

Proband B:

Messung	natürliches Tageslicht	Tageslichtlampe	Behandlungsleuchte
1	A1 60%; B2 40%	B1 100%	A2 70%; D2 30%
2	B1 100%	B1 100%	B2 100%
3	B1 75%; D2 25%	A2 100%	B2 100%
4	C1 75%; B1 25%	B1 100%	B1 100%
5	B1 100%	B1 100%	B1 100%
6	A2 75%; B1 25%	B1 100%	B1 100%
7	B2 100%	C1 60%; A2 40%	B1 100%
8	B2 85%; B1 15%	B2 100%	B1 100%
9	B1 100%	D2 100%	B2 85%; D2 15%
10	B1 100%	B1 100%	C1 60%; B1 40%
11	C1 60%; D2 40%	B2 100%	B1 85%; B2 15%
12	B1 100%	B1 100%	B2 50%; B1 50%
13	B1 100%	B1 70%; D2 30%	A2 50%; B1 50%
14	B2 75%; A1 25%	B1 70%; D2 30%	B1 100%
15	B1 75%; A1 25%	B1 100%	D2 65%; B1 35%
16	B1 100%	B2 100%	B2 55%; B1 45%
17	B1 100%	B1 100%	B1 100%
18	A1 95%; B2 5%	D2 55%; A1 45%	A1 100%
19	B1 100%	D2 100%	B1 100%
20	D2 55%; B1 45%	B1 100%	A1 100%
21	B1 50%; D2 50%	B1 100%	A1 100%
22	B1 100%	B2 100%	B1 50%; D2 50%
23	B2 100%	D2 100%	B1 100%
24	B1 75%; A2 25%	B1 100%	B1 95%; B2 5%
25	B2 75%; B1 25%	B2 100%	B2 100%

Tabelle A 1.2 Messergebnisse des durch *DSG 4* gemessenen Zahnes 21 des Probanden B; die Kalibrierung der Messeinrichtung erfolgte alle 5 Messungen.



## Appendix 2 – erhobene Daten zu Versuch 2

Proband A:

Messung	natürliches Tageslicht	Tageslichtlampe	Behandlungsleuchte
1	A1 100%	A1 100%	A1 100%
2	A1 100%	A1 100%	A1 100%
3	A1 100%	A1 100%	A1 100%
4	A1 100%	A1 100%	A1 100%
5	A1 100%	A1 100%	A1 100%
6	A1 100%	A1 100%	A1 100%
7	A1 100%	A1 100%	A1 100%
8	A1 100%	A1 100%	A1 100%
9	A1 100%	A1 100%	A1 100%
10	A1 100%	A1 100%	A1 100%
11	A1 100%	A1 100%	A1 100%
12	A1 100%	A1 100%	A1 100%
13	A1 100%	A1 100%	A1 100%
14	A1 100%	A1 100%	A1 100%
15	A1 100%	A1 100%	A1 100%
16	A1 100%	A1 100%	A1 100%
17	A1 100%	A1 100%	A1 100%
18	A1 100%	A1 100%	A1 100%
19	A1 100%	A1 100%	A1 100%
20	A1 100%	A1 100%	A1 100%
21	A1 100%	A1 100%	A1 100%
22	A1 100%	A1 100%	A1 100%
23	A1 100%	A1 100%	A1 100%
24	A1 100%	A1 100%	A1 100%
25	A1 100%	A1 100%	A1 100%

Tabelle A 2.1 Messergebnisse des durch *DSG 4* gemessenen Zahnes 21 des Probanden A unter Zuhilfenahme einer „Bisschiene“; die Kalibrierung der Messeinrichtung erfolgte alle 5 Messungen.

Proband B:

Messung	natürliches Tageslicht	Tageslichtlampe	Behandlungsleuchte
1	B1 95%; C1 5%	B1 100%	B1 100%
2	B1 90%; C1 10%	B1 100%	A1 55%; B1 45%
3	B1 90%; C1 10%	B1 100%	B1 80%; D2 20%
4	B1 100%	B1 85%; C1 15%	B1 85%; D2 15%
5	B1 95%; D2 5%	B1 85%; B2 15%	B1 90%; D2 10%
6	B1 95%; C1 5%	B1 100%	B1 85%; D2 15%
7	B1 100%	B1 85%; B2 15%	B1 95%; C1 5%
8	B1 95%; C1 5%	B1 100%	B1 100%
9	B1 100%	B1 100%	B1 100%
10	B1 90%; D2 10%	B1 100%	B1 100%
11	B1 85%; D2 15%	B1 55%; A1 45%	B1 100%
12	B1 85%; D2 15%	B1 70%; A1 30%	B1 65%; A1 35%
13	B1 85%; D2 15%	B1 100%	B1 95%; D2 5%
14	B1 90%; D2 10%	B1 100%	B1 95%; C1 5%
15	B1 100%	B1 100%	B1 95%; C1 5%
16	B1 100%	B1 80%; D2 20%	B1 100%
17	B1 100%	B1 100%	B1 90%; A1 10%
18	B1 100%	B1 85%; D2 15%	B1 70%; A1 30%
19	B1 100%	B1 85%; D2 15%	B1 65%; A1 35%
20	B1 100%	B1 90%; C1 10%	B1 85%; A1 15%
21	B1 95%; B2 5%	B1 95%; C1 15%	B1 90%; A1 10%
22	B1 100%	B1 90%; C1 10%	B1 100%
23	B1 100%	B1 90%; C1 10%	B1 85%; A1 15%
24	B1 100%	B1 90%; D2 10%	A1 70%; B1 30%
25	B1 100%	B1 95%; C1 5%	B1 70%; A1 30%

Tabelle A 2.2 Messergebnisse des durch *DSG 4* gemessenen Zahnes 21 des Probanden B unter Zuhilfenahme einer „Bisschiene“; die Kalibrierung der Messeinrichtung erfolgte alle 5 Messungen

### Appendix 3a – erhobene Daten zu Versuch 3a

Proband A:

Farbnehmer	Geschlecht	Gruppen- zugehörigkeit	Code	Vita- Farbe
1	weiblich	8. Semester	2	B2
2	männlich	8. Semester	2	B2
3	männlich	8. Semester	1	D3
4	männlich	8. Semester	1	D3
5	männlich	8. Semester	3	B4
6	männlich	8. Semester	10	C2
7	männlich	8. Semester	13	D4
8	weiblich	8. Semester	10	C2
9	männlich	8. Semester	3	B4
10	weiblich	8. Semester	2	B2
11	weiblich	8. Semester	13	D4
12	männlich	8. Semester	13	D4
13	männlich	8. Semester	9	A3
14	männlich	8. Semester	2	B2
15	weiblich	9. Semester	3	B4
16	weiblich	9. Semester	9	A3
17	weiblich	9. Semester	9	A3
18	männlich	9. Semester	10	C2
19	weiblich	9. Semester	2	B2
20	männlich	9. Semester	13	D4
21	weiblich	9. Semester	13	D4
22	männlich	9. Semester	9	A3
23	männlich	9. Semester	15	C4
24	weiblich	9. Semester	10	C2
25	männlich	9. Semester	10	C2
26	weiblich	9. Semester	16	A2
27	männlich	9. Semester	12	A3,5
28	männlich	9. Semester	13	D4
29	weiblich	9. Semester	13	D4
30	männlich	9. Semester	10	C2
31	männlich	9. Semester	10	C2
32	weiblich	9. Semester	9	A3
33	weiblich	9. Semester	10	C2
34	weiblich	9. Semester	1	D3
35	weiblich	9. Semester	13	D4
36	weiblich	Zahnarzthelferin	9	A3
37	weiblich	Zahnarzthelferin	9	A3
38	weiblich	Zahnarzthelferin	2	B2

39	weiblich	Zahnarzthelferin	9	A3
40	weiblich	Zahnarzthelferin	10	C2
41	weiblich	Zahnarzthelferin	10	C2
42	männlich	Zahnarzt	1	D3
43	männlich	Zahnarzt	9	A3
44	weiblich	Zahnarzt	3	B4
45	männlich	Zahnarzt	10	C2
46	männlich	Zahnarzt	2	B2
47	weiblich	Zahnarzt	9	A3
48	männlich	Zahnarzt	2	B2
49	männlich	Zahnarzt	10	C2
50	weiblich	Zahnarzt	9	A3

Tabelle A 3a.1 Messergebnisse des mit Hilfe eines *Vita*-Farbringes durch 50 Farbnehmer aus den Gruppen „Studenten des 8. Semesters“, Studenten des 9. Semesters“, „Zahnarzthelferinnen“ und „Zahnärzte“ bestimmten Zahnes 21 des Probanden A

Proband B:

Farbnehmer	Geschlecht	Gruppen- zugehörigkeit	Code	Vita- Farbe
1	weiblich	8. Semester	2	B2
2	männlich	8. Semester	6	C1
3	männlich	8. Semester	2	B2
4	männlich	8. Semester	2	B2
5	männlich	8. Semester	6	C1
6	männlich	8. Semester	8	A1
7	männlich	8. Semester	6	C1
8	weiblich	8. Semester	6	C1
9	männlich	8. Semester	6	C1
10	weiblich	8. Semester	7	B1
11	weiblich	8. Semester	6	C1
12	männlich	8. Semester	7	B1
13	männlich	8. Semester	6	C1
14	männlich	8. Semester	6	C1
15	weiblich	9. Semester	10	C2
16	weiblich	9. Semester	2	B2
17	weiblich	9. Semester	2	B2
18	männlich	9. Semester	6	C1
19	weiblich	9. Semester	8	A1
20	männlich	9. Semester	8	A1
21	weiblich	9. Semester	1	D3
22	männlich	9. Semester	16	A2
23	männlich	9. Semester	6	C1
24	weiblich	9. Semester	4	D2
25	männlich	9. Semester	16	A2
26	weiblich	9. Semester	4	D2
27	männlich	9. Semester	2	B2
28	männlich	9. Semester	4	D2
29	weiblich	9. Semester	6	C1
30	männlich	9. Semester	6	C1
31	männlich	9. Semester	6	C1
32	weiblich	9. Semester	4	D2
33	weiblich	9. Semester	6	C1
34	weiblich	9. Semester	8	A1
35	weiblich	9. Semester	16	A2
36	weiblich	Zahnarzthelferin	4	D2
37	weiblich	Zahnarzthelferin	2	B2
38	weiblich	Zahnarzthelferin	8	A1
39	weiblich	Zahnarzthelferin	2	B2

40	weiblich	Zahnarzthelferin	9	A3
41	weiblich	Zahnarzthelferin	9	A3
42	männlich	Zahnarzt	8	A1
43	männlich	Zahnarzt	4	D2
44	weiblich	Zahnarzt	14	C3
45	männlich	Zahnarzt	6	C1
46	männlich	Zahnarzt	9	A3
47	weiblich	Zahnarzt	4	D2
48	männlich	Zahnarzt	16	A2
49	männlich	Zahnarzt	6	C1
50	weiblich	Zahnarzt	2	B2

Tabelle A 3a.2 Messergebnisse des mit Hilfe eines *Vita*-Farbringes durch 50 Farbnehmer aus den Gruppen „Studenten des 8. Semesters“, „Studenten des 9. Semesters“, „Zahnarzthelferinnen“ und „Zahnärzte“ bestimmten Zahnes 21 des Probanden B

### Appendix 3b – erhobene Daten zu Versuch 3b

Proband A:

Farbnehmer	Geschlecht	Gruppenzugehörigkeit	DSG 4 – Farbbestimmung
1	weiblich	8. Semester	A1 100%
			B1 100%
			A1 100%
			B1 65%; B2 35%
			A1 100%
2	männlich	8. Semester	A3 55%; A2 45%
			B2 85%; A1 15%
			A1 75%; A2 25%
			A2 95%; D3 5%
			A2 90%; B2 10%
3	männlich	8. Semester	A1 100%
			A1 100%
			B1 100%
			B1 100%
			B1 100%
4	männlich	8. Semester	A1 100%
			A2 100%
			A2 100%
			A2 90%; A3,5 10%
			C1 65%; B1 35%
5	männlich	8. Semester	C1 80%; A1 20%
			A1 80%; A2 20%
			A1 100%
			A1 100%
			A1 80%; A2 20%
6	männlich	8. Semester	A1 100%
			A1 100%
			A1 100%
			A1 65%; A2 35%
			A1 100%
7	männlich	8. Semester	A1 80%; A3 20%
			A1 100%
			B2 60%; A2 40%
			A1 100%
			A1 75%; A2 25%
8	weiblich	8. Semester	A1 80%; A2 20%
			A1 100%
			A1 100%
			C1 90%; A2 10%
			A1 100%

9	männlich	8. Semester	A1 100%
			A1 100%
			A1 100%
			A1 100%
			A1 100%
10	weiblich	8. Semester	A1 100%
			A1 100%
			A1 100%
			A1 100%
			A1 100%
11	weiblich	8. Semester	A1 100%
			A1 75%; A2 25%
			D2 60%; A1 40%
			B1 80%; A2 20%
			A1 100%
12	männlich	8. Semester	A1 100%
			A1 100%
			A1 100%
			A1 100%
			A1 100%
13	männlich	8. Semester	B1 100%
			A1 100%
			A1 100%
			A1 100%
			A1 100%
14	männlich	8. Semester	A1 100%
			A1 100%
			A1 100%
			A1 100%
			A1 100%
15	weiblich	9. Semester	A1 100%
			A1 100%
			A1 100%
			A1 70%; A2 30%
			A1 100%
16	weiblich	9. Semester	A1 100%
			B1 75%; C1 25%
			A2 90%; A4 10%
			A1 100%
			A1 100%
17	weiblich	9. Semester	B1 100%
			A1 100%
			C1 70%; A2 30%
			A1 100%
			A1 100%



18	männlich	9. Semester	A1 100%
			A1 100%
			A1 100%
			A1 100%
			A1 100%
19	weiblich	9. Semester	A1 100%
			A1 100%
			A1 100%
			A1 100%
			A1 100%
20	männlich	9. Semester	A1 100%
			A1 100%
			A1 100%
			A1 100%
			A1 100%
21	weiblich	9. Semester	A1 75%; A2 25%
			A1 100%
			A1 100%
			A1 100%
			A1 100%
22	männlich	9. Semester	A1 100%
			C1 65%; A1 35%
			A1 100%
			B2 80%; A1 20%
			A1 100%
23	männlich	9. Semester	C1 85%; A1 15%
			A1 100%
			A1 100%
			C1 70%; A1 30%
			A1 100%
24	weiblich	9. Semester	A1 90%; A2 10%
			A1 100%
			C4 100%
			A1 100%
			A1 80%; A2 20%
25	männlich	9. Semester	A1 100%
			A1 100%
			A1 100%
			A1 100%
			A1 100%
26	weiblich	9. Semester	A1 100%
			A1 85%; A2 15%
			A1 100%
			A1 100%
			A1 70%; A2 30%

27	männlich	9. Semester	A1 100%
			A1 100%
			A1 100%
			A1 100%
			A1 100%
28	männlich	9. Semester	A1 80%; A2 20%
			C1 60%; A1 40%
			C1 80%; A1 20%
			B2 70%; A1 30%
			B2 75%; A1 25%
29	weiblich	9. Semester	A1 100%
			C1 60%; A1 40%
			C1 55%; A1 45%
			B2 60%; A1 40%
			A1 100%
30	männlich	9. Semester	A1 100%
			A1 80%; A2 20%
			A1 100%
			A1 100%
			C1 70%; A1 30%
31	männlich	9. Semester	C1 90%; B2 10%
			A1 100%
			A1 100%
			A1 100%
			A1 100%
32	weiblich	9. Semester	A1 100%
			C1 95%; A2 5%
			C1 65%; A1 35%
			A1 100%
			A1 60%; B1 40%
33	weiblich	9. Semester	C3 75%; D2 25%
			A1 85%; A2 15%
			B1 100%
			A1 75%; A2 25%
			B1 100%
34	weiblich	9. Semester	A1 100%
			A1 100%
			A1 100%
			A1 100%
			A1 100%
35	weiblich	9. Semester	A1 100%
			A1 100%
			A1 100%
			A1 100%
			B1 100%

36	weiblich	Zahnarzthelferin	A1 100%
			A1 100%
			A1 100%
			A1 100%
			A1 100%
37	weiblich	Zahnarzthelferin	A1 100%
			B1 100%
			B2 75%; A1 25%
			A1 100%
			C1 85%; A2 15%
38	weiblich	Zahnarzthelferin	D2 95%; C4 5%
			D2 85%; D3 15%
			C4 60%; D2 40%
			D3 70%; C4 30%
			C3 70%; D2 30%
39	weiblich	Zahnarzthelferin	A1 100%
			A1 100%
			B1 100%
			A1 100%
			A1 100%
40	weiblich	Zahnarzthelferin	A1 100%
			B1 100%
			A1 85%; A2 15%
			A1 85%; A2 15%
			A1 65%; A2 35%
41	weiblich	Zahnarzthelferin	A1 90%; A2 10%
			A1 100%
			B1 100%
			A1 100%
			A1 50%; B1 50%
42	männlich	Zahnarzt	A1 100%
			A1 100%
			A1 100%
			A1 100%
			B1 100%
43	männlich	Zahnarzt	A1 100%
			A1 100%
			A1 100%
			A1 100%
			A1 100%
44	weiblich	Zahnarzt	B1 80%; D2 20%
			B1 85%; C1 15%
			A1 100%
			A1 95%; A2 5%
			A2 100%

45	männlich	Zahnarzt	A1 100%
			A1 100%
			B1 100%
			A1 100%
			A1 100%
46	männlich	Zahnarzt	B1 100%
			B1 100%
			A1 100%
			A1 100%
			A1 100%
47	weiblich	Zahnarzt	A1 100%
			C1 85%; D4 15%
			A1 100%
			B2 75%; A2 25%
			C1 80%; A2 20%
48	männlich	Zahnarzt	A1 100%
			A1 100%
			A1 100%
			A1 100%
			C3 85%; C4 15%
49	männlich	Zahnarzt	A1 85%; A2 15%
			A1 80%; A2 20%
			C1 80%; A1 20%
			A1 85%; A2 15%
			C1 85%; A1 15%
50	weiblich	Zahnarzt	A1 100%
			A1 100%
			A1 100%
			C1 90%; A2 10%
			A1 100%

Tabelle A 3b.1 Messergebnisse des mit Hilfe des *DSG 4*-Messgerätes durch 50 Farbnehmer aus den Gruppen „Studenten des 8. Semesters“, Studenten des 9. Semesters“, „Zahnarzthelferinnen“ und „Zahnärzte“ bestimmten Zahnes 21 des Probanden A. Die Kalibrierung der Messeinrichtung erfolgte alle 5 Messungen.

Proband B:

Farbnehmer	Geschlecht	Gruppenzugehörigkeit	DSG 4 – Farbbestimmung
1	weiblich	8. Semester	B1 80%; B3 20%
			B1 100%
			B1 100%
			B1 100%
			B1 100%
2	männlich	8. Semester	A1 100%
			A1 90%; B1 10%
			A1 100%
			B1 100%
			C2 80%; C4 20%
3	männlich	8. Semester	B1 100%
			A1 100%
			B1 100%
			A1 100%
			A1 100%
4	männlich	8. Semester	D2 80%; B1 20%
			A1 100%
			A1 100%
			B2 70%; A1 30%
			B1 65%; D2 35%
5	männlich	8. Semester	B1 100%
			B1 100%
			B1 100%
			B1 100%
			B1 100%
6	männlich	8. Semester	A1 90%; B2 10%
			B1 75%; A1 25%
			A1 95%; B2 5%
			B1 100%
			A1 100%
7	männlich	8. Semester	A1 100%
			B1 100%
			B1 100%
			A2 100%
			B2 100%
8	weiblich	8. Semester	B1 100%
			A1 100%
			B1 100%
			B1 90%; C1 10%
			A1 100%
9	männlich	8. Semester	B1 100%
			B1 100%
			B1 100%
			B1 100%
			B1 100%

10	weiblich	8. Semester	A1 65%; B1 35%
			B1 100%
			A1 100%
			B1 65%; D2 35%
			A1 65%; B1 35%
11	weiblich	8. Semester	B1 70%; B2 30%
			A1 50%; B1 50%
			B1 60%; A1 40%
			B1 85%; C1 15%
			B1 70%; D2 30%
12	männlich	8. Semester	B1 100%
			B2 100%
			A1 100%
			B1 100%
			B1 100%
13	männlich	8. Semester	A1 100%
			A1 100%
			A1 100%
			A1 100%
			B1 100%
14	männlich	8. Semester	A1 100%
			A1 100%
			A1 100%
			A1 100%
			A1 100%
15	weiblich	9. Semester	A1 100%
			A1 100%
			A1 65%; B2 35%
			B1 65%; B2 35%
			B1 100%
16	weiblich	9. Semester	D2 100%
			B1 85%; A1 15%
			A1 60%; B2 40%
			C1 100%
			A1 100%
17	weiblich	9. Semester	B1 100%
			B1 100%
			A1 100%
			A1 100%
			A1 100%
18	männlich	9. Semester	B1 80%; C1 20%
			B1 70%; D2 30%
			B1 100%
			A1 100%
			B1 90%; C1 10%

19	weiblich	9. Semester	B1 100%
			A1 100%
			A1 75%; B1 25%
			B1 100%
			B1 100%
20	männlich	9. Semester	A1 100%
			A1 100%
			A1 90%; B2 10%
			A1 90%; B2 10%
			A1 90%; C1 10%
21	weiblich	9. Semester	B1 100%
			A1 100%
			A1 100%
			A1 100%
			A1 100%
22	männlich	9. Semester	A1 75%; B1 25%
			A1 100%
			B1 100%
			B1 75%; B2 25%
			A1 100%
23	männlich	9. Semester	A1 100%
			A1 100%
			A1 100%
			A1 100%
			A1 100%
24	weiblich	9. Semester	C3 80%; C4 20%
			B1 100%
			A1 100%
			A1 100%
			A1 100%
25	männlich	9. Semester	B1 100%
			B1 100%
			B1 100%
			A1 100%
			B1 100%
26	weiblich	9. Semester	A1 100%
			A1 100%
			A1 100%
			A1 100%
			A1 100%
27	männlich	9. Semester	A1 100%
			A1 90%; B2 10%
			A1 100%
			A1 100%

28	männlich	9. Semester	A1 80%; B2 20%
			A1 90%; B2 10%
			A1 60%; B2 40%
			A1 75%; B2 25%
			A1 70%; B2 30%
29	weiblich	9. Semester	A1 100%
			A1 100%
			B1 80%; B2 20%
			A1 75%; B2 25%
			A1 100%
30	männlich	9. Semester	A1 100%
			B1 100%
			A1 65%; B2 35%
			A1 100%
			A1 100%
31	männlich	9. Semester	B1 100%
			B1 100%
			B1 100%
			B1 100%
			B1 65%; D2 35%
32	weiblich	9. Semester	A1 80%; B2 20%
			A1 85%; B2 15%
			A1 100%
			A1 100%
			A1 75%; B2 25%
33	weiblich	9. Semester	B1 100%
			A1 100%
			A1 100%
			A1 100%
			B1 70%; B2 30%
34	weiblich	9. Semester	B1 80%; D2 20%
			B2 55%; A1 45%
			B1 100%
			A1 100%
			B1 100%
35	weiblich	9. Semester	A1 100%
			B1 100%
			B1 100%
			B1 100%
			B1 100%
36	weiblich	Zahnarzthelferin	A1 100%
			B1 100%
			A1 100%
			A1 100%
			B1 100%



37	weiblich	Zahnarzthelferin	A1 100%
			A1 100%
			A1 100%
			A1 80%; B1 20%
			A1 100%
38	weiblich	Zahnarzthelferin	A1 100%
			D2 95%; B1 5%
			A1 100%
			C1 80%; D2 20%
			C1 75%; B1 25%
39	weiblich	Zahnarzthelferin	A1 100%
			B1 100%
			A1 100%
			A1 100%
			A1 100%
40	weiblich	Zahnarzthelferin	A1 100%
			A1 100%
			A1 100%
			A1 100%
			A1 100%
41	weiblich	Zahnarzthelferin	B1 100%
			A1 100%
			A1 100%
			A1 100%
			A1 100%
42	männlich	Zahnarzt	A1 100%
			A1 100%
			A1 80%; B1 20%
			B1 85%; B2 15%
			A1 100%
43	männlich	Zahnarzt	B1 70%; B2 30%
			B1 80%; B2 20%
			B1 75%; B2 25%
			B1 70%; B2 30%
			A1 55%; B2 45%
44	weiblich	Zahnarzt	B1 100%
			C1 100%
			B1 100%
			A1 100%
			A1 85%; B2 15%
45	männlich	Zahnarzt	A1 100%
			B2 100%
			A1 100%
			B1 65%; B2 35%
			B1 100%

46	männlich	Zahnarzt	B1 100%
			A1 100%
			A1 100%
			A1 100%
			A1 100%
47	weiblich	Zahnarzt	B1 100%
			B1 100%
			A1 100%
			B1 100%
			A1 100%
48	männlich	Zahnarzt	B1 70%; D2 30%
			A1 100%
			A1 50%; B1 50%
			A1 100%
			C1 70%; B1 30%
49	männlich	Zahnarzt	A1 100%
			B1 55%; A1 45%
			A1 100%
			A1 100%
			A1 100%
50	weiblich	Zahnarzt	B1 100%
			A1 100%
			B1 100%
			A1 100%
			B1 85%; B2 15%

Tabelle A 3b.2 Messergebnisse des mit Hilfe des *DSG 4*-Messgerätes durch 50 Farbnehmer aus den Gruppen „Studenten des 8. Semesters“, Studenten des 9. Semesters“, „Zahnarzthelferinnen“ und „Zahnärzte“ bestimmten Zahnes 21 des Probanden B. Die Kalibrierung der Messeinrichtung erfolgte alle 5 Messungen.

## **Danksagung**

Mein ganz besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr. Ferger für das Überlassen des Themas, sowie für die Betreuung und Hilfestellung während der Durchführung der Arbeit. Ebenso sei ihm für das Bereitstellen der erforderlichen Geräte und Räumlichkeiten in der Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik gedankt.

Frau Natalia Bouras möchte ich für das Korrekturlesen und die zahlreichen Verbesserungsvorschläge danken.

Ein ganz spezieller Dank gilt meinem Freund und Kommilitonen Marcus Müller für die gemeinsam durchgestandene Studienzeit.

Abschließend gilt ein besonderer Dank meinen lieben Eltern, die mich immer großzügig unterstützt haben und mir in schwierigen Situationen den Rücken stärkten. Ohne deren liebevolle Hilfe wäre es mir nicht möglich gewesen das Studium und diese Arbeit zu bestreiten.

# Lebenslauf

## PERSÖNLICHE DATEN

Martin Kopp  
geb. am 01.05.1975 in Weilburg  
Nationalität: deutsch

## BILDUNGSGANG

seit Juli 2002	Assistenz in der Praxis Dr. Mende/ Bad Nauheim
WS 01/02	Zahnärztliche Prüfung
März 1999	Zahnärztliche Vorprüfung
Nov. 1997	Naturwissenschaftliche Vorprüfung
WS 95/96 - SS 01	Studium der Zahnheilkunde an der Justus-Liebig-Universität Gießen
Sept. 94 - Okt. 95	Zivildienst in der Werkstatt für Behinderte "Florentine" in Braunfels
1985-1994	Gymnasium-Philippinum Weilburg Abitur im Juni 1994
1981-1985	Grundschule Weinbach

Ich erkläre: Ich habe die vorgelegte Dissertation selbstständig, ohne unerlaubte fremde Hilfe und nur mit den Hilfen angefertigt, die ich in der Dissertation angegeben habe. Alle Textstellen, die wörtlich oder sinngemäß aus veröffentlichten oder nicht veröffentlichten Schriften entnommen sind, und alle Angaben, die auf mündlichen Auskünften beruhen, sind als solche kenntlich gemacht. Bei den von mir durchgeführten und in der Dissertation erwähnten Untersuchungen habe ich die Grundsätze guter wissenschaftlicher Praxis, wie sie in der „Satzung der Justus-Liebig-Universität Gießen zur Sicherung guter wissenschaftlicher Praxis“ niedergelegt sind, eingehalten.

Gräveneck, den 11.06.2004