

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

Evaluation der Transluzenz von Frontzähnen unter Verwendung eines  
digitalen Farbbestimmungssystems

Inauguraldissertation  
zur Erlangung des Doktorgrades der  
Zahnmedizin  
der Universitätsmedizin  
der Johannes Gutenberg-Universität Mainz

Vorgelegt von

Svenja Klenz  
aus Speyer

Mainz, 2023

Wissenschaftlicher Vorstand: Univ.-Prof. Dr. U. Förstermann

1. Gutachter:

2. Gutachter:

Tag der Promotion: 21. Juni 2024

# Inhaltsverzeichnis

<b>Abkürzungsverzeichnis .....</b>	<b>5</b>
<b>Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>6</b>
<b>Tabellenverzeichnis .....</b>	<b>8</b>
<b>1 Einleitung .....</b>	<b>11</b>
<b>2 Literaturdiskussion .....</b>	<b>12</b>
2.1 Bedeutung der Farbbestimmung in der Zahnmedizin – Grundlagen .....	12
2.1.1 Die Bedeutung von Transluzenz und Farbe .....	12
2.1.2 Farbräume und Farbordnungssysteme .....	15
2.1.3 Physikalische Aspekte des Lichts .....	19
2.1.4 Wechselwirkung von Licht und Materie.....	19
2.1.5 Physiologie der Farbwahrnehmung .....	20
2.2 Einflussfaktoren der Farbbestimmung .....	23
2.2.1 Zahnaufbau und die Bedeutung der einzelnen Zahnschichten .....	24
2.2.2 Einfluss des Lichts.....	26
<b>3 Material.....</b>	<b>27</b>
3.1 Das Farbmessgerät VITA Easyshade V .....	28
3.1.1 Betriebsmodus Grundfarbbestimmung .....	29
3.1.2 Betriebsmodus Mittelungsfarbbestimmung .....	31
3.1.3 Betriebsmodus Zahnbereichsfarbbestimmung .....	32
3.1.4 Betriebsmodus Farbbestimmung von keramischen Restaurationen .....	32
3.1.5 Betriebsmodus Farbbestimmung von keramischen Kronen .....	33
3.2 Software VITA Assist.....	33
3.3 Probanden.....	34
3.3.1 Rekrutierung.....	34
3.3.2 Einschlusskriterien.....	34
3.3.3 Ausschlusskriterien.....	34
<b>4 Methoden .....</b>	<b>35</b>
4.1 Vorversuche .....	35
4.2 Versuchsbedingungen.....	35
4.3 Vorbereitung der Transluzenzbestimmung .....	35
4.4 Vorgehen bei der Transluzenzbestimmung .....	36
4.4.1 Visuelle Transluzenzbestimmung .....	36
4.4.2 Digitale Transluzenzbestimmung.....	37
4.5 Auswertung der ermittelten Daten .....	38

<b>5</b>	<b>Ergebnisse</b> .....	<b>39</b>
5.1	Vergleich der Zielparameter hinsichtlich des Transluzenzgrades mit und ohne Anlegen der Zunge in Abhängigkeit des Transluzenzgrades .....	39
5.2	Vergleich der $\Delta E$ Werte hinsichtlich des Transluzenzgrades mit und ohne Anlegen der Zunge an die orale Fläche des Zahnes.....	42
5.3	Vergleich der $\Delta E$ Werte hinsichtlich des Transluzenzgrades mit und ohne Anlegen der Zunge für die einzelnen Zähne .....	44
5.4	Vergleich der Farbkoordinaten zwischen dem Zustand mit und ohne Anlegen der Zunge in Abhängigkeit des Transluzenzgrades .....	48
5.5	Vergleich der Farbkoordinaten zwischen dem Zustand mit und ohne Anlegen der Zunge für die einzelnen Zähne .....	50
5.6	Graphische Darstellung der Farbkoordinaten zwischen dem Zustand mit und ohne Anlegen der Zunge in Abhängigkeit des Transluzenzgrades für die einzelnen Zähne.....	53
<b>6</b>	<b>Diskussion</b> .....	<b>57</b>
6.1	Diskussion von Methodik und Material.....	57
6.2	Diskussion der Ergebnisse .....	60
6.2.1	Digitale Transluzenzgradbestimmung und Korrelation mit dem visuellen Transluzenzgrad.....	60
6.2.2	Der Farbunterschied $\Delta E$ .....	64
<b>7</b>	<b>Zusammenfassung</b> .....	<b>66</b>
<b>8</b>	<b>Literaturverzeichnis</b> .....	<b>68</b>
<b>9</b>	<b>Anhang</b> .....	<b>75</b>
	<b>Danksagung</b> .....	<b>105</b>
	<b>Lebenslauf</b> .....	<b>106</b>

## Abkürzungsverzeichnis

$\Delta$	Delta
ANOVA	Analysis of Variance, Varianzanalyse
Abb.	Abbildung
ca.	circa
CIE	Commission Internationale de l'Éclairage / International Commission on Illumination
d.h.	das heißt
ESV	Easyshade V (VITA Zahnfabrik, H. Rauter GmbH & Co. KG)
IR	Infrarot
K	Kelvin
nm	Nanometer
mm	Millimeter
SPSS	Statistical Package for the Social Sciences
Tab.	Tabelle
UV	Ultraviolett
z.B.	zum Beispiel

## Abbildungsverzeichnis

Abb. 1:	Newtons Farbkreis.....	14
Abb. 2:	Goethes Farbkreis, aquarellierte Federzeichnung.....	14
Abb. 3:	Munsell Color System.....	15
Abb. 4:	CIE Normfarbtafel.....	16
Abb. 5:	L*a*b* Farbraum.....	17
Abb. 6:	L*C*h° Farbraum.....	17
Abb. 7:	Lage des Zahnfarbraums im L*a*b* Farbraum.....	18
Abb. 8:	Das für den Menschen sichtbare Spektrum (Licht).....	19
Abb. 9:	Wechselwirkung von Licht und Materie.....	20
Abb. 10:	Schematische Darstellung des Wahrnehmungsprozesses bis hin zur Farbempfindung.....	21
Abb. 11:	Aufbau des menschlichen Auges.....	21
Abb. 12:	Stationen des Sehens.....	22
Abb. 13:	Zahn in Seitenansicht und im Schnitt.....	24
Abb. 14:	Front- und Seitenansicht des Vita Easyshade V.....	28
Abb. 15:	Display ESV in Grundfarbbestimmung.....	29
Abb. 16:	Display ESV in Grundfarbbestimmung / VITA Classical A1-D4 und VITA System 3D-Master.....	29
Abb. 17:	Display ESV in Grundfarbbestimmung / VITA Classical A1-D4.....	29
Abb. 18:	Display ESV in Grundfarbbestimmung / VITA SYSTEM 3D-Master.....	30
Abb. 19:	Display ESV in Grundfarbbestimmung / VITABLOCS Farbe.....	30
Abb. 20:	Display ESV in Grundfarbbestimmung / Bleachedindex.....	31
Abb. 21:	Display ESV in Mittelungsfarbbestimmung.....	31
Abb. 22:	Display ESV in Mittelungsfarbbestimmung VITA SYSTEM 3D Master / VITA Classical A1-D4.....	31
Abb. 23:	Display ESV in Zahnbereichsbestimmung.....	32
Abb. 24:	Display ESV in Zahnbereichsbestimmung VITA SYSTEM 3D Master / VITA Classical A1-D4.....	32
Abb. 25 - 27:	Display ESV Farbbestimmung von keramischen Restaurationen VITA SYSTEM 3D-Master / VITA Classical A1-D4.....	32
Abb. 28,29:	Display ESV Farbbestimmung von keramischen Kronen VITA SYSTEM 3D- Master / VITA Classical A1-D4.....	33
Abb. 30:	Visuelle Transluzenzbestimmung mit angelegter Zunge an die orale Zahnfläche.....	36
Abb. 31:	Visuelle Transluzenzbestimmung ohne angelegte Zunge an die orale Zahnfläche.....	36
Abb. 32:	Digitale Transluzenzbestimmung ohne angelegte Zunge.....	37
Abb. 33:	Digitale Transluzenzbestimmung mit angelegter Zunge.....	37
Abb. 34:	Graphische Darstellung $\Delta E$ Werte der Zähne 11-43, alle Transluzenzgrade..	47
Abb. 35:	Graphische Darstellung der L*-Farbkoordinate der Zähne 11-43, visueller Transluzenzgrad = niedrigtransluzent.....	53
Abb. 36:	Graphische Darstellung der L*-Farbkoordinate der Zähne 11-42, visueller Transluzenzgrad = hochtransluzent.....	54

Abb. 37:	Graphische Darstellung der C*-Farbkoordinate der Zähne 11-43, visueller Transluzenzgrad = niedrigtransluzent .....	55
Abb. 38:	Graphische Darstellung der C*-Farbkoordinate der Zähne 11-43, visueller Transluzenzgrad = mitteltransluzent .....	56
Abb. 39:	Graphische Darstellung der L*-Farbkoordinate der Zähne 11-43, visueller Transluzenzgrad = mitteltransluzent .....	99
Abb. 40:	Graphische Darstellung der C*-Farbkoordinate der Zähne 11-42, visueller Transluzenzgrad = hochtransluzent .....	99
Abb. 41:	Graphische Darstellung der h°-Farbkoordinate der Zähne 11-43, visueller Transluzenzgrad = niedrigtransluzent .....	100
Abb. 42:	Graphische Darstellung der h°-Farbkoordinate der Zähne 11-43, visueller Transluzenzgrad = mitteltransluzent .....	100
Abb. 43:	Graphische Darstellung der h°-Farbkoordinate der Zähne 11-42, visueller Transluzenzgrad = hochtransluzent .....	101
Abb. 44:	Graphische Darstellung der a*-Farbkoordinate der Zähne 11-43, visueller Transluzenzgrad = niedrigtransluzent .....	101
Abb. 45:	Graphische Darstellung der a*-Farbkoordinate der Zähne 11-43, visueller Transluzenzgrad = mitteltransluzent .....	102
Abb. 46:	Graphische Darstellung der a*-Farbkoordinate der Zähne 11-42, visueller Transluzenzgrad = hochtransluzent .....	102
Abb. 47:	Graphische Darstellung der b*-Farbkoordinate der Zähne 11-43, visueller Transluzenzgrad = niedrigtransluzent .....	103
Abb. 48:	Graphische Darstellung der b*-Farbkoordinate der Zähne 11-43, visueller Transluzenzgrad = mitteltransluzent .....	103
Abb. 49:	Graphische Darstellung der b*-Farbkoordinate der Zähne 11-42, visueller Transluzenzgrad = hochtransluzent .....	104

## Tabellenverzeichnis

Tab. 1:	Vergleich der Zielparameter hinsichtlich des Transluzenzgrades mit und ohne Anlegen der Zunge zusammen in Abhängigkeit des Transluzenzgrades .....	39
Tab. 2:	ANOVA, Vergleich der Farbkoordinaten .....	40
Tab. 3:	Post-Hoc Test, Vergleich der Farbkoordinaten der einzelnen Gruppen miteinander.....	41
Tab. 4:	Vergleich der $\Delta E$ Werte hinsichtlich des Transluzenzgrades mit und ohne Anlegen der Zunge an die orale Fläche des Zahnes.....	42
Tab. 5:	ANOVA, $\Delta E$ Wert.....	42
Tab. 6:	Post-Hoc Test, Vergleiche der einzelnen Gruppen miteinander .....	43
Tab. 7:	Vergleich der $\Delta E$ Werte mit und ohne Anlegen der Zunge für die einzelnen Zähne, Zahn 11 .....	44
Tab. 8:	ANOVA, $\Delta E$ Wert des Zahnes 11 .....	44
Tab. 9:	Post-Hoc Test, Vergleich der einzelnen Gruppen miteinander, Zahn 11 .....	45
Tab. 10:	Vergleich der $\Delta E$ Werte mit und ohne Anlegen der Zunge für die einzelnen Zähne, Zahn 12 .....	45
Tab. 11:	ANOVA, Vergleich der $\Delta E$ Werte des Zahnes 12 .....	45
Tab. 12:	Post-Hoc Test, Vergleich der einzelnen Gruppen miteinander, Zahn 12 .....	46
Tab. 13:	Vergleich der $\Delta E$ Werte mit und ohne Anlegen der Zunge für die einzelnen Zähne, Zahn 13 .....	46
Tab. 14:	ANOVA, Vergleiche der $\Delta E$ Werte des Zahnes 13 .....	46
Tab. 15:	Vergleich der Farbkoordinaten mit und ohne angelegter Zunge in Abhängigkeit des Transluzenzgrades, visueller Transluzenzgrad = niedrigtransluzent .....	48
Tab. 16:	ANOVA, Vergleich der Farbkoordinaten mit und ohne angelegter Zunge, visueller Transluzenzgrad = niedrigtransluzent .....	48
Tab. 17:	ANOVA, Vergleich der Farbkoordinaten mit und ohne angelegter Zunge, visueller Transluzenzgrad = mitteltransluzent .....	49
Tab. 18:	ANOVA, Vergleich der Farbkoordinaten mit und ohne angelegter Zunge, visueller Transluzenzgrad = hochtransluzent .....	49
Tab. 19:	ANOVA, Vergleich der Farbkoordinaten mit und ohne Zunge, Zahn 11 .....	50
Tab. 20:	ANOVA, Vergleich der Farbkoordinaten mit und ohne Zunge, Zahn 12 .....	50
Tab. 21:	ANOVA, Vergleich der Farbkoordinaten mit und ohne Zunge, Zahn 13 .....	51
Tab. 22:	Vergleich der $\Delta E$ Werte mit und ohne Anlegen der Zunge für die einzelnen Zähne, Zahn 21 .....	79
Tab. 23:	ANOVA, Vergleiche der $\Delta E$ Werte des Zahnes 21 zwischen und innerhalb der Gruppen .....	79
Tab. 24:	Post-Hoc Test, Vergleich der einzelnen Gruppen miteinander, Zahn 21 .....	79
Tab. 25:	Vergleich der $\Delta E$ Werte mit und ohne Anlegen der Zunge für die einzelnen Zähne, Zahn 22 .....	80
Tab. 26:	ANOVA, Vergleiche der $\Delta E$ Werte des Zahnes 22 zwischen und innerhalb der Gruppen .....	80
Tab. 27:	Post-Hoc Test, Vergleich der einzelnen Gruppen miteinander, Zahn 22 .....	80

Tab. 28:	Vergleich der $\Delta E$ Werte mit und ohne Anlegen der Zunge für die einzelnen Zähne, Zahn 23 .....	81
Tab. 29:	ANOVA, Vergleiche der $\Delta E$ Werte des Zahnes 23 zwischen und innerhalb der Gruppen .....	81
Tab. 30:	Vergleich der $\Delta E$ Werte mit und ohne Anlegen der Zunge für die einzelnen Zähne, Zahn 31 .....	81
Tab. 31:	ANOVA, Vergleiche der $\Delta E$ Werte des Zahnes 31 zwischen und innerhalb der Gruppen .....	82
Tab. 32:	Post-Hoc Test, Vergleich der einzelnen Gruppen miteinander, Zahn 31 .....	82
Tab. 33:	Vergleich der $\Delta E$ Werte mit und ohne Anlegen der Zunge für die einzelnen Zähne, Zahn 32 .....	82
Tab. 34:	ANOVA, Vergleiche der $\Delta E$ Werte des Zahnes 32 zwischen und innerhalb der Gruppen .....	83
Tab. 35:	Post-Hoc Test, Vergleich der einzelnen Gruppen miteinander, Zahn 32 .....	83
Tab. 36:	Vergleich der $\Delta E$ Werte mit und ohne Anlegen der Zunge für die einzelnen Zähne, Zahn 33 .....	83
Tab. 37:	ANOVA, Vergleiche der $\Delta E$ Werte des Zahnes 33 zwischen und innerhalb der Gruppen .....	84
Tab. 38:	Vergleich der $\Delta E$ Werte mit und ohne Anlegen der Zunge für die einzelnen Zähne, Zahn 41 .....	84
Tab. 39:	ANOVA, Vergleiche der $\Delta E$ Werte des Zahnes 41 zwischen und innerhalb der Gruppen .....	84
Tab. 40:	Post-Hoc Test, Vergleich der einzelnen Gruppen miteinander, Zahn 41 .....	85
Tab. 41:	Vergleich der $\Delta E$ Werte mit und ohne Anlegen der Zunge für die einzelnen Zähne, Zahn 42 .....	85
Tab. 42:	ANOVA, Vergleiche der $\Delta E$ Werte des Zahnes 42 zwischen und innerhalb der Gruppen .....	85
Tab. 43:	Post-Hoc Test, Vergleich der einzelnen Gruppen miteinander, Zahn 42 .....	86
Tab. 44:	Vergleich der $\Delta E$ Werte mit und ohne Anlegen der Zunge für die einzelnen Zähne, Zahn 43 .....	86
Tab. 45:	ANOVA, Vergleiche der $\Delta E$ Werte des Zahnes 43 zwischen und innerhalb der Gruppen .....	86
Tab. 46:	Vergleich der Farbkoordinaten mit und ohne Zunge, visueller Transluzenzgrad = mitteltransluzent .....	87
Tab. 47:	Vergleich der Farbkoordinaten mit und ohne Zunge, visueller Transluzenzgrad = hochtransluzent .....	87
Tab. 48:	Vergleich der Farbkoordinaten mit und ohne Zunge, Zahn 11 .....	88
Tab. 49:	Vergleich der Farbkoordinaten mit und ohne Zunge, Zahn 12 .....	88
Tab. 50:	Vergleich der Farbkoordinaten mit und ohne Zunge, Zahn 13 .....	89
Tab. 51:	Vergleich der Farbkoordinaten mit und ohne Zunge, Zahn 21 .....	89
Tab. 52:	ANOVA, Vergleich der Farbkoordinaten mit und ohne Zunge, Zahn 21 .....	90
Tab. 53:	Vergleich der Farbkoordinaten mit und ohne Zunge, Zahn 22 .....	90
Tab. 54:	ANOVA, Vergleich der Farbkoordinaten mit und ohne Zunge, Zahn 22 .....	91
Tab. 55:	Vergleich der Farbkoordinaten mit und ohne Zunge, Zahn 23 .....	91
Tab. 56:	ANOVA, Vergleich der Farbkoordinaten mit und ohne Zunge, Zahn 23 .....	92
Tab. 57:	Vergleich der Farbkoordinaten mit und ohne Zunge, Zahn 31 .....	92
Tab. 58:	ANOVA, Vergleich der Farbkoordinaten mit und ohne Zunge, Zahn 31 .....	93

Tab. 59:	Vergleich der Farbkoordinaten mit und ohne Zunge, Zahn 32.....	93
Tab. 60:	ANOVA, Vergleich der Farbkoordinaten mit und ohne Zunge, Zahn 32 .....	94
Tab. 61:	Vergleich der Farbkoordinaten mit und ohne Zunge, Zahn 33.....	94
Tab. 62:	ANOVA Vergleich der Farbkoordinaten mit und ohne Zunge, Zahn 33 .....	95
Tab. 63:	Vergleich der Farbkoordinaten mit und ohne Zunge, Zahn 41.....	95
Tab. 64:	ANOVA, Vergleich der Farbkoordinaten mit und ohne Zunge, Zahn 41 .....	96
Tab. 65:	Vergleich der Farbkoordinaten mit und ohne Zunge, Zahn 42.....	96
Tab. 66:	ANOVA, Vergleich der Farbkoordinaten mit und ohne Zunge, Zahn 42 .....	97
Tab. 67:	Vergleich der Farbkoordinaten mit und ohne Zunge, Zahn 43.....	97
Tab. 68:	ANOVA, Vergleich der Farbkoordinaten mit und ohne Zunge, Zahn 43 .....	98

## 1 Einleitung

Ein wesentlicher Bestandteil bei der Herstellung hochästhetischer prothetischer Versorgungungen ist neben Faktoren wie Farbangleichung und eine entsprechende Formgebung der richtige Transluzenzgrad. Die „Qualität“ einer Zahnfarbe ist hierbei abhängig von unterschiedlich transluzenten Schichten von Schmelz und Dentin, die das Licht absorbieren, reflektieren oder es teilweise oder völlig brechen (1). Aus diesem Grund ist das Erreichen einer möglichst genauen Übereinstimmung zwischen der natürlichen Zahnfarbe und der prothetischen Restauration von großer Bedeutung, um den Patienten mit einem besonders natürlich wirkenden Ergebnis versorgen zu können. Die am häufigsten angewandte Methode zur Ermittlung der Zahnfarbe ist die visuelle Farbbestimmung mit Hilfe sogenannter Farbskalen. Die Firma VITA Zahnfabrik H. Rauter GmbH & Co. KG stellt die international bekanntesten und in der Praxis und im zahnmedizinischen Labor in der Mehrzahl verwendeten Farbskalen her (2, 3). Diverse Studien bestätigen jedoch, dass die Ermittlung der Zahnfarbe mit Hilfe digitaler Farbbestimmungssysteme präzisere Ergebnisse erzielt als mit der visuellen Zahnfarbbestimmung (4-7). Bis heute gibt es jedoch keine elektronische Methode den Transluzenzgrad reproduzierbar zu bestimmen. Daher stellt sich die Frage, ob es mit einem elektronischen Farbbestimmungssystem möglich ist, den Transluzenzgrad indirekt zu erfassen. Wäre es möglich diesen mit Hilfe digitaler Farbbestimmungssysteme zu bestimmen, wäre dies ein Gewinn für die ästhetische Zahnmedizin. Infolgedessen könnten noch präzisere farbliche Übereinstimmungen zwischen dem natürlichen Zahn und dem Zahnersatz erzielt werden. Durch die stetige Entwicklung und Verbesserung der dentalen Werkstoffe steigen nun auch schon seit Jahrzehnten die ästhetischen Anforderungen der Patienten an ihren Zahnersatz (8). In dieser Studie wird das Spektrophotometer Easyshade V (VITA Zahnfabrik H. Rauter GmbH & Co.KG, 2015) verwendet und geprüft, ob sich mit dessen Hilfe der Transluzenzgrad reproduzierbar bestimmen lässt.

## **2 Literaturdiskussion**

### **2.1 Bedeutung der Farbbestimmung in der Zahnmedizin – Grundlagen**

Um die bestmöglichen ästhetischen Ergebnisse in der Zahnmedizin zu erreichen, ist die richtige Zahnfarbbestimmung von enormer Bedeutung. Es müssen künstlerische Fähigkeiten entwickelt werden, um Illusion und Realität in Einklang zu bringen. Das Verständnis der Unterschiede in den Farbtönen ist die Grundlage für die Entstehung von Illusionen, womit der Zahnarzt und der Zahntechniker in enger Zusammenarbeit ein „fehlerhaftes Lächeln“ künstlerisch modifizieren können, sodass Patienten es als natürlich und attraktiver wahrnehmen können (9). Durch die steigenden Ansprüche der Patienten spielt nun auch die Zahnfarbbestimmung eine bedeutendere Rolle in der Zahnmedizin und gestaltet sich zu einer deutlich schwierigeren Aufgabe (10). Die Farbbestimmung für direkte und indirekte Restaurationen war schon immer eine Herausforderung und ein schwer zu lösendes Problem in der Zahnmedizin (11). Die Gesamtwahrnehmung von Farbe und Aussehen eines Zahnes ist ein komplexes Phänomen, was durch viele Faktoren wie zum Beispiel die Lichtverhältnisse, die Transluzenz, die Opazität, die Lichtstreuung, das menschliche Auge und das Gehirn beeinflusst wird (12, 13).

#### **2.1.1 Die Bedeutung von Transluzenz und Farbe**

Das Wort Transluzenz kommt aus dem Lateinischen und setzt sich zusammen aus trans (hindurch) und lux (Licht), somit beschreibt die Transluzenz die Lichtdurchlässigkeit eines Körpers (14). Die Transluzenz liegt zwischen Transparenz (vollständige Lichtdurchlässigkeit) und Opazität (mangelnde Durchlässigkeit) (15).

Die optischen Eigenschaften sind verantwortlich für das Aussehen eines Zahnes. Die Transluzenz wird definiert als die relative Lichtmenge, die durch ein Material hindurchdringt. Mit Hilfe eines Spektrophotometers mit sogenannter Ulbricht-Kugel, einer besonderen Lichtquelle, ist es möglich die Transluzenz zu messen. Das erfolgt durch die Bestimmung der Gesamttransmission inklusive der Streuung des Lichts (16, 17).

Es wurde bewiesen, dass die Transluzenz sowohl bei der Farbbestimmung als auch bei der Ästhetik einer zahnärztlichen Restauration eine bedeutende Rolle spielt (18-20). Aufgrund mangelnder reproduzierbarer Messmethoden und der damit einhergehenden Schwierigkeit die Transluzenz natürlicher Zähne zu messen, befassen sich bisher nur wenige Studien mit diesem Thema (20). Im Duden wird das Wort Farbe definiert als: „mit dem Auge wahrnehmbare Erscheinungsweise der Dinge, die auf der verschiedenartigen Reflexion und Absorption von Licht beruht.“ Eine weitere Definition ist, dass Farbe das Ergebnis ist, das durch physikalische Modifikation des Lichts durch farbgebende Gegenstände, die physiologische Wahrnehmung durch das menschliche Auge und die nachfolgende Interpretation des Gehirns entsteht (21). Daraus ergeben sich viele verschiedene Ansätze Farbe zu definieren. Diverse Theoretiker, Mediziner, Physiologen und Physiker beschäftigen sich schon seit Jahrhunderten mit dem Thema Farbe und wie man sie charakterisieren kann. Schon im Jahre 1672 nahm sich Issac Newton diesem Problem an und entdeckte durch seine Versuchsreihe mit einem Prisma, dass das Licht eine Zusammensetzung unterschiedlicher Farbanteile ist und aus sogenannten Spektralfarben besteht. Mit Hilfe des Metamerismus erklärte er, dass auch aus unterschiedlich bestehenden Lichtanteilen dieselbe Farbempfindung hervorgerufen werden kann. Er erstellte einen Farbkreis, wie in Abbildung 1 zu sehen, bestehend aus den Farben Rot, Orange, Gelb, Grün, Blau, Indigo und Violett (22). Newton betrachtete Farbe also aus dem Aspekt der Physik und sagte „Rays... are not colored. In them there is nothing else than a certain power and disposition to stir up a sensation of this or that color“ (23). Diese Aussage lässt sich so interpretieren, dass die elektromagnetische Strahlung an sich keine Farbe hat, sondern nur durch den Menschen als Farbe wahrgenommen wird.

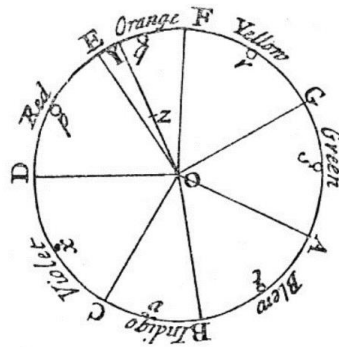


Abb. 1: Newtons Farbkreis (22)

Der Dichter Johann Wolfgang von Goethe wiederum beschrieb in seinem Werk „Zur Farbenlehre“ die Farbe als sinnliche Wahrnehmung. Er differenzierte zwischen den Grundfarben Gelb, Blau und Rot sowie den Mischfarben Grün, Orange und Violett, wie in Abbildung 2 dargestellt. Blau ließ den Eindruck der Finsternis, gelb wiederum den Eindruck von Licht erwecken (24).

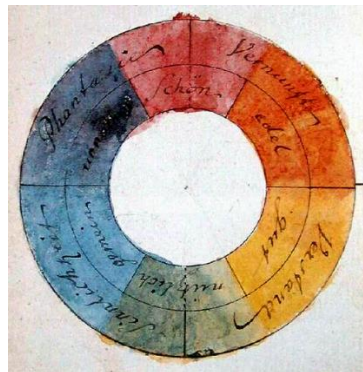


Abb. 2: Goethes Farbkreis, aquarellierte Federzeichnung (25)

Einen medizinischen Ansatz wählte Thomas Young, ein englischer Arzt und Physiologe. Er beschäftigte sich mit der Theorie, dass das menschliche Auge durch den Aufbau der Netzhaut in der Lage sei, nur drei Grundfarben zu erkennen und aus diesen eine Vielzahl von verschiedenen Farben gemischt werden können (26, 27).

Darauf aufbauend veröffentlichte Herrmann von Helmholtz die „Drei-Farben-Theorie“. Diese besagt, dass die Farbwahrnehmung auf der Stimulation der in der Netzhaut

befindlichen drei verschiedenen Zapfentypen beruht. Mindestens zwei der drei Zapfentypen werden durch einen Reiz stimuliert und somit eine Mischfarbe erzeugt. Helmholtz wies den Primärfarben Blau, Grün und Rot gewisse Eigenschaften zu, ähnlich wie die Klangeigenschaften von Tönen. Dies erfolgte in Form von Buntton (Farbton), Helligkeit und Sättigung. Diese Eigenschaften bildeten das Fundament vieler noch heute verwendeter Farbsysteme, wie auch dem CIE Farbsystem (26).

### 2.1.2 Farbräume und Farbordnungssysteme

Die Wahrnehmung einer Farbe ist subjektiv (28). Daher ist es wichtig, Farben physikalisch und mathematisch zu definieren, um sie objektiv einordnen zu können. Zu diesem Zweck wurde unter anderem ein dreidimensionales Modell entwickelt, der sogenannte Farbraum, in dem jede Farbe einzeln definiert werden kann (29). Eines der bekanntesten Farbordnungssysteme wurde von Albert H. Munsell entwickelt, in dem erstmalig Farben nach ihren messbaren Werten des Farbtons (hue), Helligkeit (value) und Sättigung (chroma) charakterisiert wurden (26). Abbildung 3 zeigt das Munsell Color System.

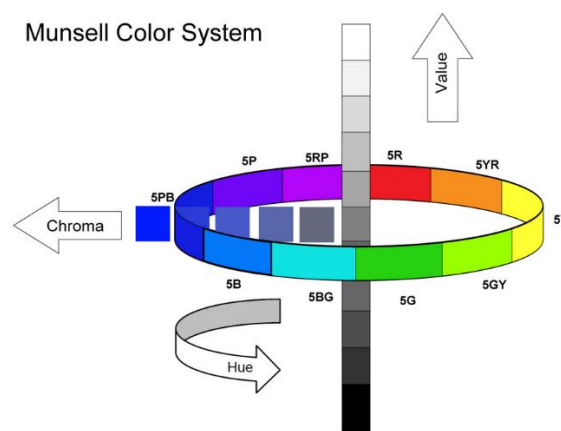


Abb. 3: Munsell Color System (30)

Im Jahre 1931 veröffentlichte die CIE das Normvalenzsystem oder Normfarbsystem. Laut dieses Systems besteht jede Farbe aus einer Mischung der drei Grundfarben Blau, Grün und Rot. Sie entwickelte den CIE XYZ Farbraum. Auf der Y-Koordinate wird die Helligkeit dargestellt, X und Z Koordinate beinhalten die Sättigung. Das CIE Modell

wird als zungen- oder sohlenförmig beschrieben (26). An den Seiten befinden sich die Farben Grün, Rot und Blau. Dazwischen liegen alle Mischfarben, die aus den drei Grundfarben bestehen. Diese Mischfarben treffen sich im Zentrum des Modells, dem sogenannten Unbuntpunkt U, also dem reinen Farbton Weiß, wie in Abbildung 4 dargestellt.

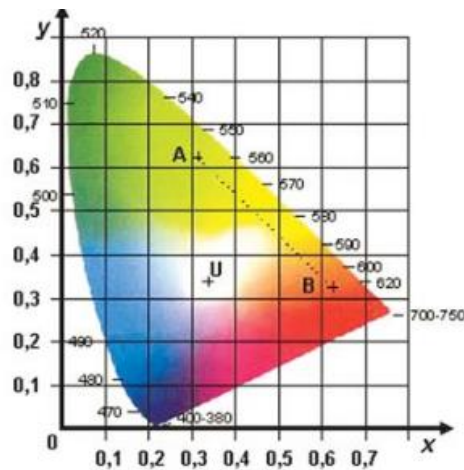


Abb. 4: CIE Normfarbtafel (29)

Von den seitlichen Rändern ausgehend in Richtung des Zentrums nimmt die Sättigung der Farben ab. Zieht man eine Gerade von der Farbe A zur Farbe B, lassen sich nur die Farben erzeugen die auf dieser Geraden liegen. Daraus folgt, dass aus einem blaugrünen und einem roten Licht kein gelbes Licht gemischt werden kann. Grün ist in dieser Farbtafel überdimensioniert, während Rot und Blau nur geringe Anteile an den Seiten einnehmen. Es ist nicht möglich den Unterschied zweier Farben als Entfernung zu bestimmen. Daher entwickelte die CIE das sogenannte CIE  $L^*a^*b^*$  sowie das  $L^*C^*h^\circ$  System, um Farben und Farbabstände eindeutig in einem dreidimensionalen Raum zu definieren. Mit Hilfe einiger Umrechnungen werden die XYZ Koordinaten der Normfarbtafel in  $L^*a^*b^*$  bzw.  $L^*C^*h^\circ$  Werte umgewandelt. X und Y werden umgerechnet zu  $a^*$ , aus Y und Z wird  $b^*$  errechnet und Y zu  $L^*$  (genaue Vorgehensweise auf S.17). In Abbildung 5 ist der Aufbau des  $L^*a^*b^*$  Systems dargestellt. Die  $a^*$  und  $b^*$  Achse verläuft horizontal, die (Helligkeits-) L Achse vertikal. Von dem Schnittpunkt der Achsen gesehen nimmt die Sättigung zu. Die  $a^*$  Achse enthält die Farben Rot bis Grün und die  $b^*$  Achse enthält die Farben Gelb bis Blau.

Eine Farbe kann somit genau lokalisiert und der Abstand zu einer anderen Farbe exakt berechnet werden (29). Dieser Abstand zweier Farben wird als  $\Delta E$  bezeichnet. Der  $\Delta E$  Wert wird mit folgender Formel berechnet:

$$\Delta E = \sqrt{(L1 - L2)^2 + (a1 - a2)^2 + (b1 - b2)^2} \quad (31)$$

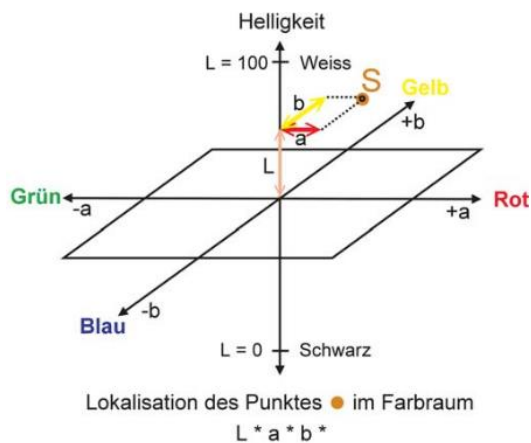


Abb. 5:  $L^*a^*b^*$  Farbraum (29)

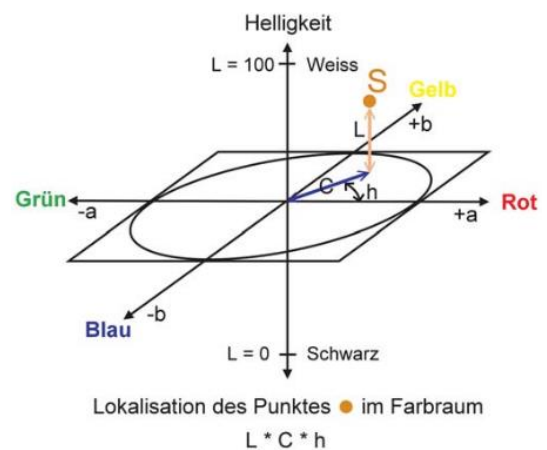


Abb. 6:  $L^*C^*h^\circ$  Farbraum (29)

Die Abbildung 5 zeigt den  $L^*a^*b^*$  Farbraum. Der  $L^*C^*h^\circ$  Farbraum ist in Abbildung 6 dargestellt. Da in der Zahnmedizin und damit in der Zahnfarbbestimmung die Größen wie Helligkeit (L), Sättigung/Chroma (C) und Farbverschiebung/hue (h) von Bedeutung sind, findet dieser Farbraum zumindest in der Zahnmedizin mehr Anklang und wird auch als Zahnfarbraum definiert. Die L-Achse ist wie im  $L^*a^*b^*$  System definiert, von unten nach oben nimmt die Helligkeit zu. Der C-Wert gibt eine Aussage darüber, wie weit die Farbe von der L Koordinate entfernt ist, d.h. je größer der C-Wert ist, desto intensiver bzw. gesättigter ist die Farbe. Der Winkel  $h^\circ$  gibt an, wo sich eine Farbe befindet und ob sie in diesem Fall eher im rötlichen oder gelblichen Bereich liegt. Die  $L^*a^*b^*$  Werte müssen in  $L^*C^*h^\circ$  Werte umgerechnet werden.

$$L^* \text{ (value)} = L$$

$$C^* \text{ (chroma)} = \sqrt{a^2 + b^2}$$

$$h^\circ = \sin(h) = b / \sqrt{a^2 + b^2} \quad (29)$$

Abbildung 7 zeigt eine detailliertere Form des Zahnfarbraumes und wo sich dieser im  $L^*a^*b^*$  Farbraum befindet.

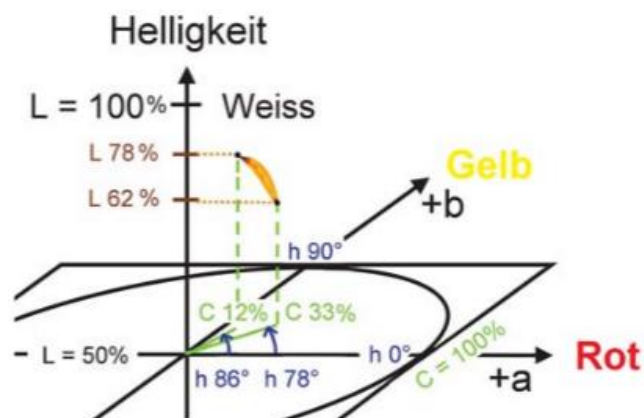


Abb. 7: Lage des Zahnfarbraums im  $L^*a^*b^*$  Farbraum (29)

Der Zahnfarbraum wird in der Abbildung 7 als Banane dargestellt. Er liegt zwischen den Bereichen hellrot und hellgelb. Das hellere Ende der Banane liegt eher im gelblichen Bereich, das dunklere Ende eher im rötlichen Bereich. Daraus lässt sich schließen, dass hellere Zähne eine geringere Farbsättigung und einen höheren Gelbanteil haben, während dunklere Zähne intensiver gefärbt sind und einen höheren Rotanteil besitzen. Somit kann ein Zahn im Zahnfarbraum lokalisiert werden (29).

### 2.1.3 Physikalische Aspekte des Lichts

Elektromagnetische Strahlung mit Wellenlängen von 400 bis 750 nm ist der adäquate Reiz für das Sehen und wird als Licht wahrgenommen (32). Demzufolge liegt das für das menschliche Auge wahrnehmbare, sichtbare Licht im Bereich dieser Wellenlängen, wie in Abbildung 8 dargestellt.

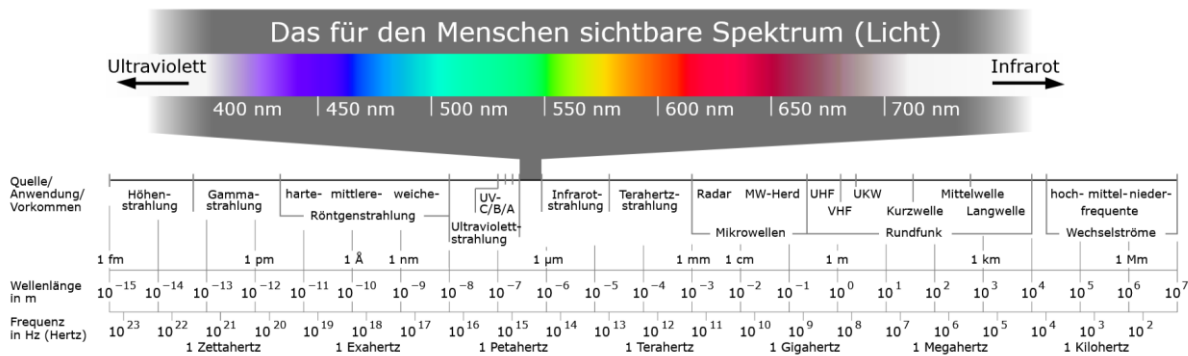


Abb. 8: Das für den Menschen sichtbare Spektrum (Licht) (33)

Ultraviolette Strahlung und Infrarotstrahlung sind somit nicht für das menschliche Auge sichtbar, haben aber trotzdem Auswirkungen auf das Auge und den menschlichen Körper. Dies zeigt sich z.B. in Form von Sonnenbrand (bei UV-Strahlung) oder anhaltender Eintrübung der Linse des Auges (bei IR-Strahlung) (32). Strahlung geringer Wellenlänge wird als violett empfunden (ca. 400-450 nm), mit steigender Wellenlänge ändert sich die Wahrnehmung über Blau, Grün, Gelb, Orange bis hin zu Rot (ca. 750nm). Der Übergang der einzelnen wahrnehmbaren Farben ist fließend (34).

### 2.1.4 Wechselwirkung von Licht und Materie

Für die Zahnfarbbestimmung ist die Wechselwirkung von Licht und Materie, in diesem Fall der Zahn, ein nicht zu unterschätzender Faktor. Es ist wichtig zu verstehen, wie die Lichtstrahlen auf Materie treffen und was nachfolgend mit diesen geschieht. In Abbildung 9 werden die Wechselwirkungen vereinfacht dargestellt.

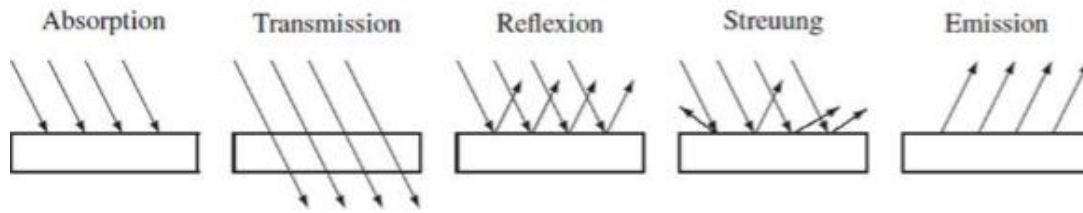


Abb. 9: Wechselwirkung von Licht und Materie (35)

Das einfallende Licht trifft auf Materie und erzeugt einen Effekt. Es wird z.B. absorbiert. Ist das Material transparent, transluzent oder opak, kann das Licht auch die Materie durchdringen, man spricht von Transmission. Außerdem kann es reflektiert, gestreut oder absorbiert und nachfolgend emittiert werden. Grundsätzlich treten diese Wechselwirkungen nicht isoliert auf, sondern sind eine Zusammensetzung mehrerer dieser Effekte. Das Verhältnis der jeweiligen Effekte ist abhängig vom Material und dessen Oberflächenbeschaffenheit (34). (Siehe auch Kapitel 2.2.2)

### 2.1.5 Physiologie der Farbwahrnehmung

Wie ein Objekt für das menschliche Auge als farbig wahrgenommen wird und wie das Auge diese Information an das Gehirn weiterleitet, unterliegt einiger komplexer physiologischer Prozesse. Vereinfacht dargestellt wird dieser Vorgang in Abbildung 10.

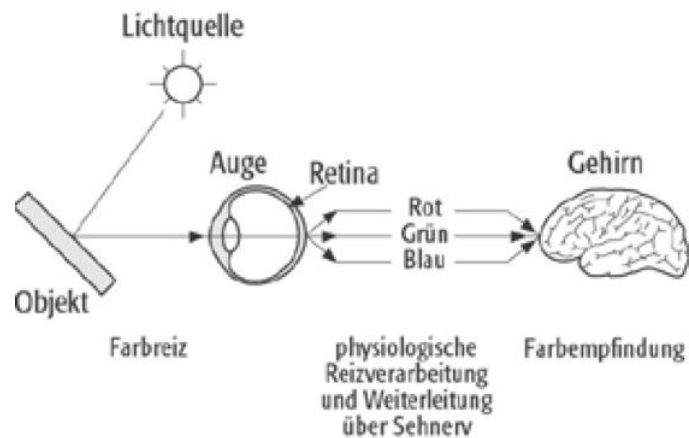


Abb. 10: Schematische Darstellung des Wahrnehmungsprozesses bis hin zur Farbempfindung (36)

Trifft Licht auf ein betrachtetes Objekt, löst dieses einen für das Auge wahrnehmbaren Farbreiz aus. Innerhalb des Auges wird die Information dieses Farbreizes durch bestimmte Nervenzellen umgewandelt und über den Sehnerv an das Gehirn transportiert. Für diesen Umwandlungsprozess ist der Aufbau des menschlichen Auges von grundlegender Bedeutung.

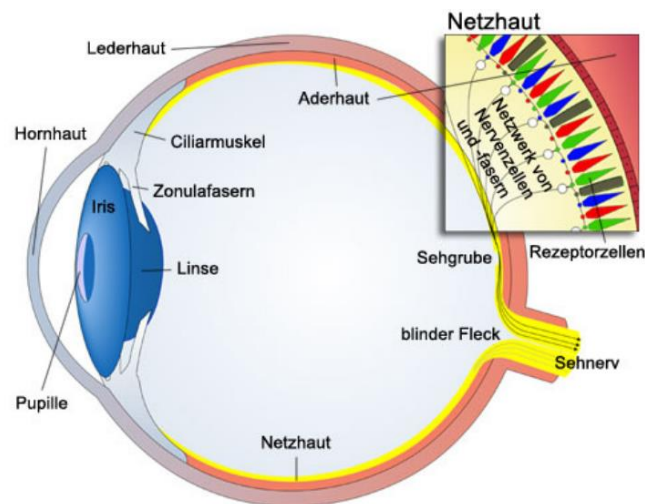


Abb. 11: Aufbau des menschlichen Auges (37)

Wie in Abbildung 11 zu erkennen, hat das Auge einen kugelförmigen Aufbau. Die äußerste Schicht ist die Lederhaut, gefolgt von der Aderhaut und der innersten Schicht,

der sogenannten Netzhaut. Wie in der kleineren Abbildung 11 zu erkennen ist, befindet sich in der Netzhaut ein breit gefächertes Netzwerk von Nervenzellen und Fasern. In der Netzhaut befinden sich neben einigen spezifischen Zellen unter anderem die sogenannten Stäbchen und Zapfen. Mit Hilfe der Stäbchen ist es möglich Helligkeitsunterschiede wahrzunehmen, während die Zapfen wiederum für das Erkennen von Farben bei Tageslicht zuständig sind. Bei Dämmerung oder Dunkelheit ist es demzufolge schwieriger oder fast unmöglich verschiedene Farben wahrnehmen zu können, da vorwiegend die Stäbchen aktiv sind.

Wie in Abbildung 10 und 11 dargestellt, bedeutet das vereinfacht erklärt: Tritt ein durch eine Lichtquelle ausgelöster Farbreiz eines Objektes in das Auge ein und trifft somit auf die in der Netzhaut befindlichen Zapfen, wandeln diese den Reiz in ein elektrisches Signal um, das über den Sehnerv an das Gehirn weitergeleitet wird und somit eine Farbwahrnehmung erzeugt (32). Eine vereinfachte Erläuterung dieses Prozesses zeigt die Abbildung 12.

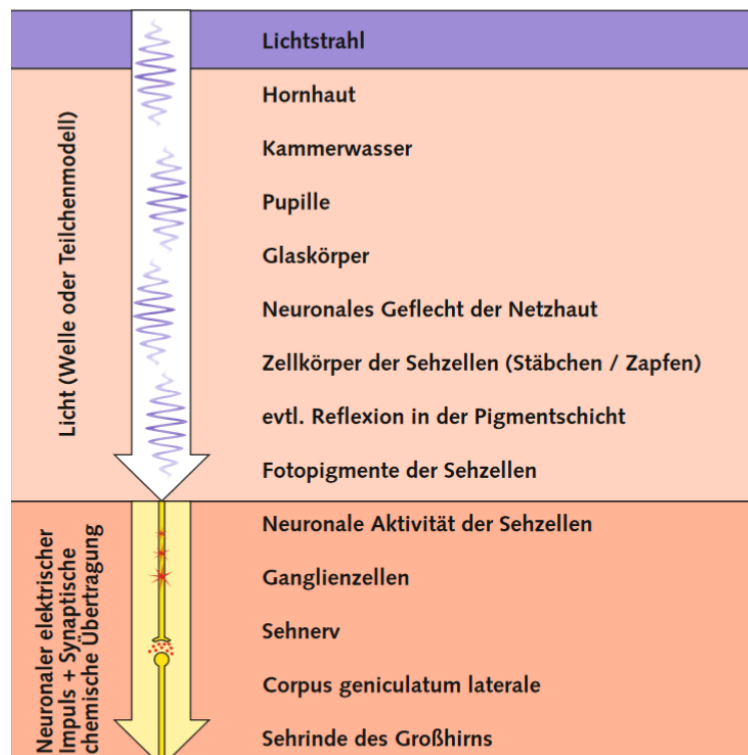


Abb. 12: Stationen des Sehens (38)

## 2.2 Einflussfaktoren der Farbbestimmung

Die visuelle Zahnfarbbestimmung ist bis heute die gängigste Methode der Zahnfarbbestimmung im Praxisalltag, da das menschliche Auge dazu fähig ist, selbst die geringsten Farbabweichungen zweier angrenzender Zähne wahrzunehmen (39).

Bei jeder Farbbestimmung sollten die erfolgsversprechenden elementaren Maßnahmen angewendet werden. Dazu zählt vor allem die gründliche Säuberung und nachfolgende Befeuchtung des Zahnes und des Vergleichzahnes aus der Farbskala. Außerdem empfiehlt es sich, die Farbbestimmung zu Beginn einer zahnärztlichen Sitzung durchzuführen, da die Zähne während der Behandlung austrocknen und somit weniger transluzent beziehungsweise opaker erscheinen (16, 40).

Ein weiterer Vorteil die Zahnfarbbestimmung am Anfang der Sitzung vorzunehmen ist, dass man der Ermüdungserscheinung und Anstrengung des Auges entgegenwirken kann. Deshalb sollte eine visuelle Farbbestimmung auch innerhalb von ca. 5 Sekunden beendet sein (16, 39, 41).

Eine korrekte Positionierung von Patient und Behandler ist zudem zu beachten. Diese sollten sich direkt gegenüber befinden und den Arbeitsabstand von etwa 50-70 cm nicht über- oder unterschreiten (42).

Der Erfolg dieser Methode ist jedoch von einigen nicht zu vernachlässigenden Faktoren abhängig. Ein homogen farbiges Objekt ist leichter farblich zu bestimmen als ein Zahn, der in seiner Farbe und Transluzenz variiert (43).

Ebenso spielt die Lichtreflexion eine große Rolle. Während der Zahnhals nur einen geringen Teil des Lichts reflektiert, wird von der Mitte des Zahnes das meiste Licht wieder zurückgeworfen. Die Schneidekante wiederum wird als transluzentester Bereich des Zahnes beschrieben (39). Daher sollte bei der visuellen Farbbestimmung der mittlere Teil des Zahnes mit dem mittleren Teil des Musters aus der Farbskala verglichen werden (44, 45).

Um eine Reizüberflutung des Auges zu vermeiden, empfiehlt es sich die Umgebung möglichst neutral zu gestalten. Dies gilt nicht nur für die Inneneinrichtung des Behandlungszimmers, sondern auch für die Kleidung des Patienten, Make-up oder farbenprächtig aufgetragene Lippenstifte (41, 46). Wenn nötig sollte Lippenstift entfernt und bunte Kleidung mit etwas Farbneutralem zugedeckt werden.

Eine möglichst ruhige Umgebung und Minderung von Störfaktoren wirken sich positiv auf die Farbbestimmung aus. Verminderte Konzentration durch erhöhte Anspannung des Betrachters wirken sich dahingegen negativ aus (47). Das Auge sollte für die Zahnfarbbestimmung trainiert werden, daher ist auch die Erfahrung des Zahnarztes von Bedeutung (48). Andererseits gibt es wissenschaftliche Publikationen, die diese These nicht bestätigen können (49, 50). Diese berichten, dass das mit der altersbedingten Minderung des Sehvermögens zusammenhängt (51). Des Weiteren konnte durch diverse Studien gezeigt werden, dass der Erfolg einer visuellen Zahnfarbbestimmung nicht abhängig vom Geschlecht des Behandlers ist (52, 53).

Trotzdem kann die gleiche Farbe von mehreren Betrachtern unterschiedlich wahrgenommen werden. Daher wird die visuelle Farbbestimmung auch als subjektive Entscheidung beschrieben (28). Um den zahnärztlichen Alltag zu erleichtern und die Probleme mit der visuellen Farbbestimmung zu minimieren wurden digitale Farbbestimmungsgeräte entwickelt.

### 2.2.1 Zahnaufbau und die Bedeutung der einzelnen Zahnschichten

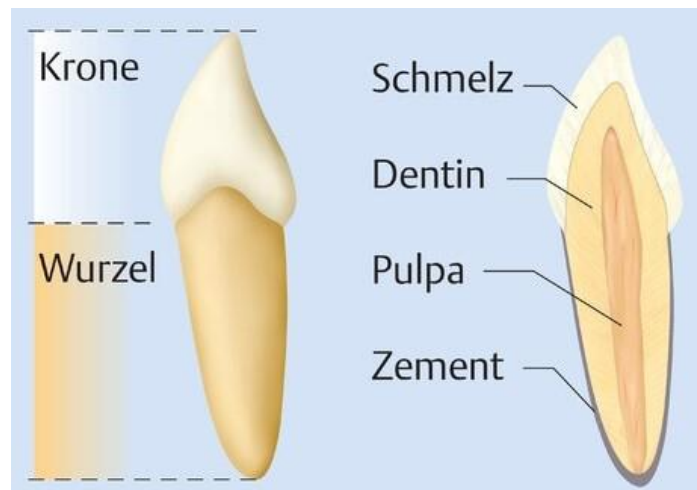


Abb. 13: Zahn in Seitenansicht und im Schnitt (54)

Die Abbildung 13 stellt den Zahn mit seinen verschiedenen Schichten unterschiedlicher Dicke dar. Jede dieser Schichten nimmt Einfluss auf die Farbbestimmung. Die innerste Schicht ist die Pulpa, gefolgt von der Dentinschicht, die

wiederum außen vom Schmelz bedeckt ist. Jede einzelne Schicht ist aufgrund ihrer Zusammensetzung unterschiedlich farbgebend und hat somit auch Einfluss auf den Transluzenzgrad eines Zahnes und wie stark dieser wahrgenommen wird (18).

Eindeutig beschrieben wird die Zahnfarbe wie folgt: „Die klinische Farbe der Krone eines normalen, vitalen Zahnes wird, abhängig von Dicke und Transparenzgrad des Schmelzes, von der gelblichen Eigenfarbe des Dentins, seiner Dicke und der durchbluteten Pulpa bestimmt“ (55). Die in der innersten Schicht befindliche Pulpa besitzt eine dunkelrote Farbe. Da die Pulpa im Kindesalter besonders voluminös ausgeprägt ist, mit zunehmendem Alter jedoch stark an Schichtdicke verliert, ist diese Schicht, zumindest im gehobenen Alter, nicht besonders einflussgebend auf die Zahnfarbe (56). Somit ist das Dentin mit seiner eher gelblichen Farbe und seiner Vielzahl an Pigmenten entscheidend für die Zahnfarbbestimmung (57, 58). Dentin besteht zum größten Teil aus Hartgewebe und zu einem geringeren Teil aus den kleinen Dentinkanälchen, den sogenannten Dentintubuli (59). Aufgrund des hohen Anteils an Hartgewebe, wird Dentin eher als lichtundurchlässig beschrieben. Jedoch führen die darin enthaltenen dünnen Dentintubuli zu den oben beschriebenen Effekten, z.B. der Lichtstreuung (60). Im Dentin bei Zähnen jüngerer Menschen befinden sich ungefähr 64000 Dentinkanälchen pro  $\text{mm}^2$ , während sich bei den Älteren lediglich 16000 Kanälchen pro  $\text{mm}^2$  befinden. Da sich das Wachstum des Dentins nach innen richtet, wird die Dentinschicht zwangsläufig dicker, während sich das Volumen der Pulpa verringert (61).

Die Dentinschicht ist bedeckt mit mehr oder weniger transluzentem Schmelz. Dadurch werden je nach Einfallswinkel des Lichts und dessen Qualität verschiedene augenscheinliche Effekte hervorgerufen. Zusätzlich muss auch der Transluzenzgrad, welcher abhängig von der Masse an Trübungspartikeln ist, berücksichtigt werden. Besonderen Einfluss haben außerdem Fluoreszenz, Opaleszenz, dünne Risse im Schmelz oder kleine Farbeinschlüsse auf die Bestimmung der Zahnfarbe. Auch nach einem Trauma auf den Zahn kann es zu Farbveränderungen der Pulpa kommen (62).

Diese Phänomene werden deshalb bei der Bestimmung in der sogenannten Effektanalyse zusammengefasst, da diese oftmals die korrekte Zahnfarbbestimmung beeinflussen und erschweren (58, 63).

### **2.2.2 Einfluss des Lichts**

Wie in Kapitel 2.1.3 beschrieben, treten die Effekte wie zum Beispiel Transmission oder Absorption nicht einzeln auf, sondern in Kombination. Je kurzwelliger das Licht (Blau oder UV-Strahlung) ist, desto mehr Licht wird gestreut. Transmission, Emission und Absorption machen nur einen geringen Teil aus und Oberflächenmängel werden sichtbar. Dementsprechend ist der Anteil der Transmission bei langwelliger Lichtstrahlung (Rot oder IR-Strahlung) größer und das Material wird durchleuchtet (34). Daher sind die Lichtverhältnisse für die optimale Zahnfarbbestimmung von großer Bedeutung. Es konnte nachgewiesen werden, dass zwei Objekte unter einer Beleuchtungsquelle als übereinstimmend in der Farbwahrnehmung, unter einer anderen Lichtquelle jedoch als völlig unterschiedlich empfunden wurden (64). Empfohlen wird daher, dass die Bestimmung der Zahnfarbe unter einer Lichtquelle mit Tageslichtqualität oder bei Tageslicht und nicht direkter Sonneneinstrahlung vorgenommen wird (42, 65). Da letzteres im normalen Praxisalltag nicht besonders praktikabel erscheint, sollte die Farbbestimmung unter einer Lichtquelle mit Normlicht erfolgen. Diese kommt dem natürlichen Tageslicht besonders nahe. Im zahnmedizinischen Bereich wird die D-Reihe (Daylight) der von der CIE evaluierten Lichtquellen empfohlen (D65, 6500 K, 2000 Lux) (66).

### 3 Material

#### Materialliste

Gaze-Tücher	Robestain™, Zhangsanzhai Town, China
Software VITA Assist	VITA Zahnfabrik, H. Rauter GmbH & Co. KG, Bad Säckingen, Deutschland
VITA Easyshade V	VITA Zahnfabrik H. Rauter GmbH & Co. KG, Bad Säckingen, Deutschland
Normlichtlampe Just modulight 6500	Just Normlicht, Weilheim, Deutschland
Laptop Lenovo™ Yoga	IBM®, Peking, China
Microsoft Excel 2019	Microsoft Deutschland GmbH, München – Schwabing, Deutschland
SPSS 2021	IBM® SPSS, Stanford, USA

### 3.1 Das Farbmessgerät VITA Easyshade V



Abb. 14: Front- und Seitenansicht des Vita Easyshade V (67)

Die Abbildung 14 zeigt den Vita Easyshade V, ein Spektrophotometer der fünften Generation (2015) der Vita Farbestimmungssysteme. Es dient zur intraoralen Farbestimmung natürlicher Zähne oder für keramische Restaurationen. Es besteht aus einer induktiven Ladestation mit Kalibrierblockhalter für den Weißabgleich und einem tragbaren Handstück. Das Handstück enthält am Kopf eine LED-Weißlicht Lichtquelle mit einem ca. 5 mm Durchmesser großen, punktuellen Belichtungsbereich. Zusätzlich befindet sich im Handstück ein Spektrophotometer, das die spektrale Lichtverteilung in einem Messbereich der Wellenlängen von 400 – 700 nm bestimmt und in Farbwerte oder international vergleichbare Werte umrechnet. Das hier verwendete Farbestimmungssystem rechnet die erfassten Daten um:

- in die Farbkoordinaten  $L^*a^*b^*-C^*h^\circ$
- in die Farben des VITA SYSTEM 3D-Master
- in die Farben des VITA classical A1-D4
- in VITABLOCS Farben
- in den BLEACHED-Index

Mit Hilfe des integrierten Bluetooth Moduls erfolgt die Übertragung der Messergebnisse in das Software-Programm VITA Assist. Auf dem OLED-Display des Gerätes werden je nach Betriebsmodus die umgerechneten Daten in eines der oben genannten Farbsystemen angezeigt.

### 3.1.1 Betriebsmodus Grundfarbbestimmung



Abbildung 15 zeigt die Auswahl des Betriebsmodus. In diesem Fall ist der Grundfarbbestimmungsmodus ausgewählt (rot umrahmt).

Abb. 15: Display ESV in Grundfarbbestimmung (67)

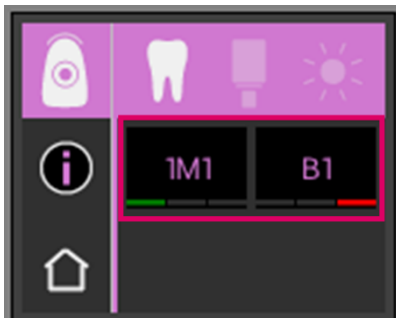


Abbildung 16 zeigt das Display nach der Messung der Zahnfarbe in der VITA SYSTEM 3D-Master (links) und in der VITA Classical A1-D4 Farben (rechts).

Abb. 16: Display ESV in Grundfarbbestimmung / VITA Classical A1-D4 und VITA System 3D-Master (67)



Abbildung 17 zeigt das Display detaillierte Informationen zur gemessenen VITA Classical A1-D4 Farbe. Die Ampel zeigt die Genauigkeit der gemessenen Farbe im Vergleich zur Standardfarbe des VITA Classical A1-D4 Farbe. Zusätzlich werden hier die Messwerte der einzelnen Farbkoordinaten angezeigt.

Abb. 17: Display ESV in Grundfarbbestimmung / VITA Classical A1-D4 (67)

- $\Delta E$ : Die **Gesamtfarbabweichung** des Zahns
- $\Delta L$  +/-: Die **Helligkeit** des Zahns ist heller (+) /dunkler (-)  
als die VITA classical A1–D4 Farbe
- $\Delta C$ : +/-: Die **Farbintensität**: der Zahn ist intensiver (+) /blasser (-)  
als die VITA classical A1–D4 Farbe
- $\Delta h$  +/-: Der **Farbton** des Zahns ist gelblicher (+) / rotlicher (-)  
als die VITA classical A1–D4 Farbe (67)

Die Ampel zeigt die Genauigkeit der gemessenen Farbe im Vergleich zur Standardfarbe der VITA classical A1-D4 Farbe oder der VITA SYSTEM 3D-Master Farbe.

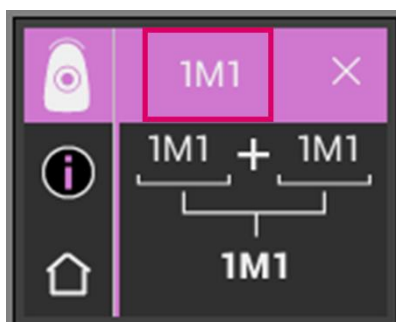


Abbildung 18 zeigt Informationen zur gemessenen VITA SYSTEM 3D-Master Farbe. In der untersten Zeile befindet sich die am besten passende Mischfarbe. Falls die gemessene Farbe des Zahnes zwischen zwei Farben liegt, kann so bei der späteren Restauration ein möglichst genaues Ergebnis erzielt werden.

Abb. 18: Display ESV in Grundfarbbestimmung / VITA SYSTEM 3D-Master (67)

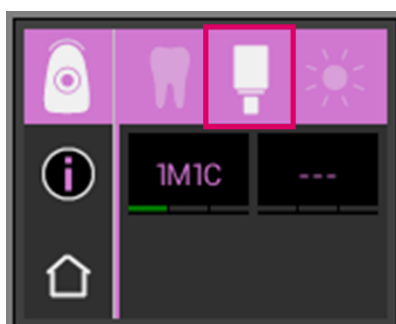


Abbildung 19 zeigt eine Empfehlung, welches CAD/CAM-Material verwendet werden sollte, um ein möglichst farbgetreues Ergebnis für die spätere Restauration zu erzielen.

Abb. 19: Display ESV in Grundfarbbestimmung / VITABLOCS Farbe (67)

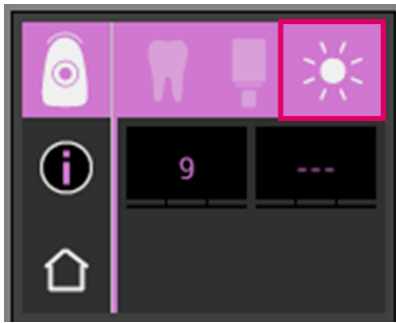


Abbildung 20 zeigt den Bleachindex zur ermittelten Zahnfarbe, gemäß des VITA Bleachedguide 3D-Master

Abb. 20: Display ESV in Grundfarbbestimmung / Bleachedindex (67)

Da in dieser Studie im Betriebsmodus Grundfarbbestimmung gemessen wurde, werden die nachfolgenden Betriebsmodi weniger detailliert erläutert.

### 3.1.2 Betriebsmodus Mittelungsfarbbestimmung



Abb. 21: Display ESV in Mittelungsfarbbestimmung (67)

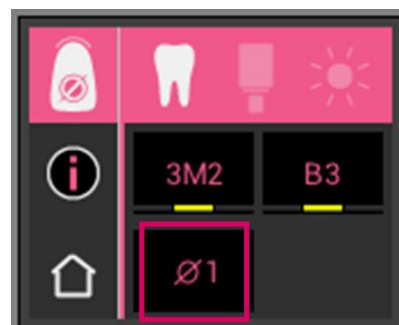


Abb. 22: Display ESV in Mittelungsfarbbestimmung VITA SYSTEM 3D Master / VITA Classical A1-D4 (67)

In diesem Betriebsmodus muss die Zahnfarbe durch mehrere Messungen bestimmt werden. Es sollten mindestens 4 und maximal 30 Messungen an verschiedenen Stellen des Zahnes durchgeführt werden. Das ESV errechnet dann die mittlere Zahnfarbe aus den Messungen.

### 3.1.3 Betriebsmodus Zahnbereichsfarbbestimmung



Abb. 23: Display ESV in Zahnbereichsbestimmung (67)

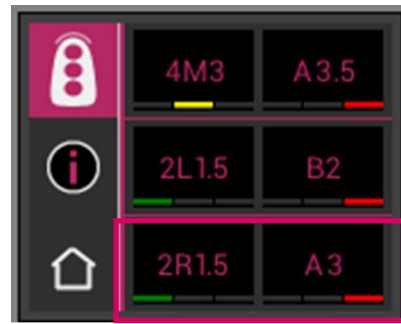


Abb. 24: Display ESV in Zahnbereichsbestimmung VITA SYSTEM 3D Master / VITA Classical A1-D4 (67)

Die Zahnbereichsfarbbestimmung erfolgt durch die Messung im zervikalen, zentralen und inzisalen Bereich des Zahnes. Die Abbildung 24 zeigt das Display des ESV mit den Messergebnissen der jeweiligen Zahnbereiche sowohl in den Farben des VITA classical A1-D4, als auch des VITA SYSTEM 3D-Master.

### 3.1.4 Betriebsmodus Farbbestimmung von keramischen Restaurationen

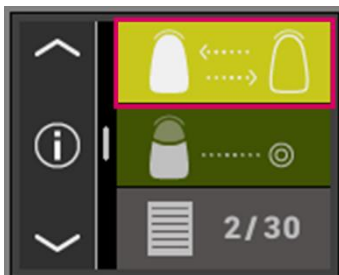


Abb. 25:

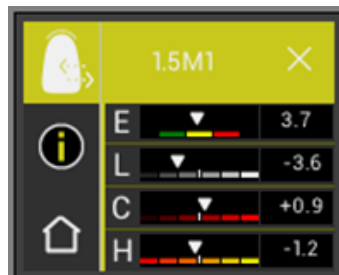


Abb. 26:



Abb. 27:

Abb. 25 - 27: Display ESV Farbbestimmung von keramischen Restaurationen VITA SYSTEM 3D-Master / VITA Classical A1-D4 (67)

Die Abbildungen 25 - 27 zeigen das Display nach der Farbbestimmung einer keramischen Restauration. Es wird analog zu den anderen Betriebsmodi in VITA SYSTEM 3D-Master und im VITA Classical A1-D4 Format angegeben. In diesem

Modus kann die Genauigkeit der Farbe der Restauration in Bezug auf die natürliche Zahnfarbe überprüft werden.

### 3.1.5 Betriebsmodus Farbbestimmung von keramischen Kronen



Abb. 28:

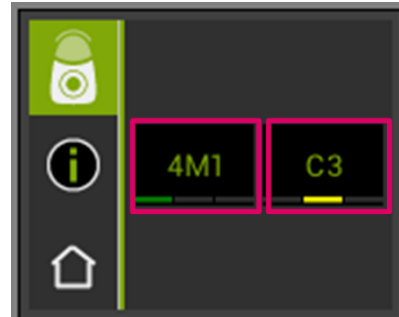


Abb. 29:

Abb. 28,29: Display ESV Farbbestimmung von keramischen Kronen VITA SYSTEM 3D-Master / VITA Classical A1-D4 (67)

Die Abbildungen 28 und 29 zeigen das Display nach der Farbbestimmung einer keramischen Krone im VITA SYSTEM 3D-Master und VITA Classical A1-D4 Format. Dieser Modus dient, genauso wie der Modus der Farbbestimmung von keramischen Restaurationen, zur Überprüfung der Farbe in Bezug auf die natürliche Zahnfarbe.

## 3.2 Software VITA Assist

Mit Hilfe des Software-Programms VITA Assist können die mit dem ESV ermittelten Daten über Bluetooth auf den Computer übertragen werden. In dem Software-Programm können digitale Patientenfotos gespeichert und bearbeitet, Informationen über die Zahnfarbe des Patienten dokumentiert sowie digitale Röntgenaufnahmen und Fotos gespeichert werden. In dieser Studie wurden ausschließlich die mit dem ESV erfassten Daten mit Hilfe von Bluetooth in das Software-Programm übertragen, von dort in eine Excel-Tabelle kopiert und gespeichert.

### **3.3 Probanden**

#### **3.3.1 Rekrutierung**

Die Rekrutierung der 52 Probanden erfolgte in der ZMK Klinik der Universitätsmedizin der Johannes Gutenberg-Universität Mainz. Die Probanden sind Studenten der Zahnmedizin.

#### **3.3.2 Einschlusskriterien**

Es wurden nur Probanden zu der Studie zugelassen, die alle bleibenden Frontzähne im Ober- und Unterkiefer besitzen.

#### **3.3.3 Ausschlusskriterien**

Um die erfassten Daten sinnvoll miteinander vergleichen zu können, wurden Probanden die Kronen, Brücken oder Provisorien, große Füllungen an den Frontzähnen, einen Retainer sowie aufgeklebte Glitzersteinchen besitzen oder der Teilnahme an der Studie nicht zustimmten, nicht in die Studie inkludiert.

## **4 Methoden**

### **4.1 Vorversuche**

Um die bestmöglichen Rahmen- und Versuchsbedingungen für die Studie zu ermitteln, wurde mit einer Probandin eine Testreihe erstellt, in der eine Zahnfarbbestimmung an verschiedenen Orten, unter verschiedenen Tageslicht- und Umgebungsbedingungen durchgeführt wurde. Dies erfolgte unter anderem an einem Fenster des zahntechnischen Labors der Prothetik-Abteilung der Johannes Gutenberg-Universität Mainz, auf einem Zahnarztstuhl in einer Studentenkoje der Prothetik-Abteilung sowie unter einer Lichtquelle mit Normlichtart in einem Arbeitszimmer eines Zahnarztes der Prothetik-Abteilung. Es erschien sinnvoll alle Probanden am zuletzt genannten Ort zu messen, da hier für jeden Probanden möglichst deckungsgleiche Versuchsbedingungen hergestellt werden konnten.

### **4.2 Versuchsbedingungen**

Um die Daten möglichst gut vergleichen zu können, wurde besonders großer Wert daraufgelegt, die Rahmen- und Versuchsbedingungen bei jedem Probanden gleich zu halten. Das heißt, alle Messungen fanden im selben Versuchsraum und auf demselben Platz statt. Dies erfolgte immer bei Tageslicht, geöffneten Rollläden und unter einer Lichtquelle mit Normlichtart (Just Normlicht, Tageslicht 6500 Kelvin, Beleuchtungsstärke 2000 Lux), unter der jeder Proband in derselben Position, das heißt mit dem Rücken zur Wand gesetzt und den Kopf in einem ca. 45° Winkel Richtung Nacken gebeugt, platziert wurde.

### **4.3 Vorbereitung der Transluzenzbestimmung**

Nachdem jeder Proband über die Studie umfassend informiert wurde, alle offenen Fragen besprochen wurden und der Patient sein Einverständnis zur Teilnahme an der Studie gegeben hatte, wurde jedem Probanden eine Fallnummer zugeordnet, um die Daten anonymisiert speichern und bearbeiten zu können. Die Probanden wurden, wie oben beschrieben, auf dem Messplatz positioniert.

## 4.4 Vorgehen bei der Transluzenzbestimmung

### 4.4.1 Visuelle Transluzenzbestimmung



Abb. 30: Visuelle Transluzenzbestimmung mit angelegter Zunge an die orale Zahnfläche



Abb. 31: Visuelle Transluzenzbestimmung ohne angelegte Zunge an die orale Zahnfläche

Bei der visuellen Transluzenzbestimmung wurde eine subjektive Einschätzung des Transluzenzgrades jedes einzelnen Frontzahnes im Ober- und Unterkiefer vorgenommen.

Durch orales Anlegen der Zunge (Abbildung 30) und wieder Entfernen der Zunge (Abbildung 31) erfolgte eine visuelle Transluzenzbestimmung, bei der beobachtet wurde, inwieweit sich die Lichtdurchlässigkeit bei Anlegen und Entfernen der Zunge an die orale Fläche des Zahnes verändert. Der Transluzenzgrad des jeweiligen Zahnes wurde in 3 Kategorien eingeteilt: niedrig-, mittel- und hochtransluzent. Die Ergebnisse der visuellen Transluzenzbestimmung wurden in einer Exceltabelle zum späteren Abgleich des Transluzenzgrades mit der digitalen Methode dokumentiert.

#### 4.4.2 Digitale Transluzenzbestimmung



Abb. 32: Digitale Transluzenzbestimmung  
ohne angelegte Zunge



Abb. 33: Digitale Transluzenzbestimmung  
mit angelegter Zunge

Vor der digitalen Messung der  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ,  $C^*$  und  $h^\circ$  Werte jedes Zahnes erfolgte eine Kalibrierung des Vita Easyshade V. Um die Zahnoberfläche von Schmutz- und Staubpartikeln zu befreien, wurde vor der Messung jeder Frontzahn mit einem Gazetuch leicht gesäubert und nachfolgend wieder mit Speichel benetzt. Der Proband wurde aufgefordert, die Zunge im Mundboden zu platzieren und möglichst weit von dem Zahn, der gemessen wurde, entfernt zu halten. Das digitale Farbbestimmungsgerät Easyshade V wurde im Betriebsmodus „Grundfarbbestimmung“ senkrecht auf der vestibulären Zahnoberfläche bündig platziert. In dieser Position wurde 5-mal gemessen (Abbildung 32). Danach erfolgte die Aufforderung an den Patienten, die Zunge möglichst bündig an die orale Fläche des Zahnes anzulegen. Die Messung wurde in der gleichen Position des Gerätes wie oben beschrieben fünfmal durchgeführt (Abbildung 33). Diese Vorgehensweise wurde bei jedem Frontzahn im Ober- und Unterkiefer angewandt. Die erfassten Daten wurden über Bluetooth in die Datenbank des Software- Programms Vita Assist übertragen und von dort wiederum in eine Exceltabelle kopiert und gespeichert.

#### 4.5 Auswertung der ermittelten Daten

Die erfassten Daten wurden in einer Exceltabelle gesammelt. Der Originaldatensatz blieb unverändert und die für die Studie benötigten Daten wurden in einer weiteren Exceltabelle gesammelt und komprimiert. Insgesamt erfolgten bei 52 Probanden mit jeweils 12 Frontzähnen 6240 Messungen. Es wurde davon ausgegangen, dass der Transluzenzgrad eines Zahnes mit den Farbkoordinaten  $L^*$ ,  $C^*$ ,  $h^\circ$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  korreliert. Mit Hilfe des Programms SPSS wurden die ermittelten Daten statistisch ausgewertet. Das Signifikanzniveau wurde auf 5% festgelegt. Für jede Farbkoordinate wurde eine einfaktorische Varianzanalyse (ANOVA) durchgeführt. Bei den nachfolgenden Post-hoc Tests wurde mit der Bonferroni Korrektur das lokale Signifikanzniveau adjustiert.

Für die statistische Auswertung wurden Mittelwert, Standardabweichung, sowie Minimal- und Maximalwerte der visuellen und der digitalen Transluzenzgradbestimmung berechnet. Es wurden Post-Hoc-Tests mit einem 95%-Konfidenzintervall durchgeführt. Die errechneten Werte wurden in Tabellen zusammengefasst, die nachfolgend in der graphischen Form von Box-Whiskers-Plots dargestellt wurden.

Es erfolgte eine Prüfung folgender Nullhypothesen:

1. Der mit Hilfe des Easyshade V ermittelte digitale Transluzenzgrad, bestehend aus den Farbkoordinaten  $L^*$ ,  $C^*$ ,  $h^\circ$ ,  $a^*$  und  $b^*$ , korreliert nicht mit dem visuellen Transluzenzgrad
2. Durch das Anlegen und Entfernen der Zunge kann das digitale Farbbestimmungsgerät Easyshade V nicht den Transluzenzgrad eines Zahnes erfassen

## 5 Ergebnisse

### 5.1 Vergleich der Zielparameter hinsichtlich des Transluzenzgrades mit und ohne Anlegen der Zunge in Abhängigkeit des Transluzenzgrades

Tab. 1: Vergleich der Zielparameter hinsichtlich des Transluzenzgrades mit und ohne Anlegen der Zunge zusammen in Abhängigkeit des Transluzenzgrades

		Mittelwert	Std.- Abweichung	Minimum	Maximum
L*	niedrig_transluzent	76,99	4,82	58,63	90,36
	mittel_transluzent	78,03	3,89	54,90	88,99
	hoch_transluzent	78,97	3,56	68,33	88,06
	Gesamt	77,94	4,11	54,90	90,36
C*	niedrig_transluzent	20,40	4,91	10,28	34,01
	mittel_transluzent	17,90	4,67	6,11	30,70
	hoch_transluzent	13,89	3,18	5,43	22,68
	Gesamt	17,86	4,93	5,43	34,01
h°	niedrig_transluzent	90,91	4,16	81,84	105,99
	mittel_transluzent	93,64	5,64	81,30	118,86
	hoch_transluzent	99,27	7,34	86,71	133,55
	Gesamt	93,87	6,18	81,30	133,55
a*	niedrig_transluzent	-0,06	1,26	-3,02	3,16
	mittel_transluzent	-0,72	1,38	-3,83	3,08
	hoch_transluzent	-1,86	0,96	-4,34	1,30
	Gesamt	-0,75	1,41	-4,34	3,16
b*	niedrig_transluzent	20,35	4,93	10,04	33,97
	mittel_transluzent	17,82	4,74	5,69	30,67
	hoch_transluzent	13,68	3,39	4,28	22,64
	Gesamt	17,76	5,03	4,28	33,97

Tabelle 1 zeigt die Bestimmung von Mittelwert, Standardabweichung, sowie die Minimal- und Maximalwerte. Vergleicht man die Mittelwerte, haben niedrigtransluzente Zähne den geringsten L\*-Wert, den höchsten C\*-Wert, den geringsten h°-Wert, den höchsten a\*-Wert und den höchsten b\*-Wert.

Tab. 2: ANOVA, Vergleich der Farbkoordinaten

	<b>Signifikanz</b>
L*	<b>&lt;0,01</b>
C*	<b>&lt;0,01</b>
h°	<b>&lt;0,01</b>
a*	<b>&lt;0,01</b>
b*	<b>&lt;0,01</b>

Die ANOVAs in Tabelle 2 zeigen, dass sich die Werte zwischen den visuellen Transluzenzgraden bei jeder Farbkoordinate signifikant voneinander unterscheiden ( $p < 0,01$ ).

Mit Hilfe der ANOVA ist zwar festzustellen, dass sich die Gruppen untereinander unterscheiden, jedoch gibt sie keinen Aufschluss darüber, welche Gruppen das sind.

Der Post-Hoc Test liefert durch einen direkten Vergleich der Gruppen miteinander Erkenntnisse darüber, welche Gruppen sich signifikant unterscheiden. Die Ergebnisse sind in Tabelle 3 dargestellt.

Tab. 3: Post-Hoc Test, Vergleich der Farbkoordinaten der einzelnen Gruppen miteinander

Bonferroni			
Abhängige Variable	(I) visueller Transluzenzgrad	(J) visueller Transluzenzgrad	Signifikanz
L*	niedrig_transluzent	mittel_transluzent	<0,01
		hoch_transluzent	<0,01
	mittel_transluzent	niedrig_transluzent	<0,01
		hoch_transluzent	<0,01
	hoch_transluzent	niedrig_transluzent	<0,01
		mittel_transluzent	<0,01
C*	niedrig_transluzent	mittel_transluzent	<0,01
		hoch_transluzent	<0,01
	mittel_transluzent	niedrig_transluzent	<0,01
		hoch_transluzent	<0,01
	hoch_transluzent	niedrig_transluzent	<0,01
		mittel_transluzent	<0,01
h°	niedrig_transluzent	mittel_transluzent	<0,01
		hoch_transluzent	<0,01
	mittel_transluzent	niedrig_transluzent	<0,01
		hoch_transluzent	<0,01
	hoch_transluzent	niedrig_transluzent	<0,01
		mittel_transluzent	<0,01
a*	niedrig_transluzent	mittel_transluzent	<0,01
		hoch_transluzent	<0,01
	mittel_transluzent	niedrig_transluzent	<0,01
		hoch_transluzent	<0,01
	hoch_transluzent	niedrig_transluzent	<0,01
		mittel_transluzent	<0,01
b*	niedrig_transluzent	mittel_transluzent	<0,01
		hoch_transluzent	<0,01
	mittel_transluzent	niedrig_transluzent	<0,01
		hoch_transluzent	<0,01
	hoch_transluzent	niedrig_transluzent	<0,01
		mittel_transluzent	<0,01

Tabelle 3 zeigt, dass mit Hilfe des Post-Hoc Tests nachweisbar ist, dass sich alle Gruppen statistisch signifikant unterscheiden ( $p < 0,01$ ). Die L\*-Werte eines als visuell niedrigtransluzent eingestuften Zahnes unterscheiden sich signifikant von denen eines mittel- und hochtransluzenten Zahnes. Dieses Ergebnis zeigt sich in allen Farbkoordinaten und in allen verschiedenen visuellen Transluzenzgraden im direkten Vergleich.

Daraus folgt, dass der mit dem ESV ermittelte digitale Transluzenzgrad mit dem visuellen Transluzenzgrad korreliert. Der Post-Hoc Test zeigt eindeutig, dass sich die Werte der als visuell niedrigtransluzent eingestuften Zähne signifikant von den mittel- und hochtransluzenten Zähnen unterscheiden.

## 5.2 Vergleich der $\Delta E$ Werte hinsichtlich des Transluzenzgrades mit und ohne Anlegen der Zunge an die orale Fläche des Zahnes

Tab. 4: Vergleich der  $\Delta E$  Werte hinsichtlich des Transluzenzgrades mit und ohne Anlegen der Zunge an die orale Fläche des Zahnes

$\Delta E$	Mittelwert	Std.- Abweichung	Minimum	Maximum
niedrig_transluzent	2,01	1,70	0,17	9,64
mittel_transluzent	2,03	1,75	0,20	15,72
hoch_transluzent	1,80	1,43	0,34	8,10
Gesamt	1,99	1,69	0,17	15,72

Betrachtet man den Mittelwert von  $\Delta E$  in der Gruppe der als niedrigtransluzent eingestuften Zähne, beträgt dieser 2,01. Bei hochtransluzent eingestuften Zähnen liegt der Mittelwert von  $\Delta E$  bei 1,80.  $\Delta E$  wird aus den Werten der  $L^*$ ,  $a^*$  und  $b^*$ -Farbkoordinaten berechnet, die  $C^*$  und  $h^\circ$  Werte werden bei dieser Berechnung nicht berücksichtigt.

Tab. 5: ANOVA,  $\Delta E$  Wert

	Signifikanz
$\Delta E$	<b>0,509</b>

Tabelle 5 zeigt, dass sich die  $\Delta E$  Werte der niedrig-, mittel- und hochtransluzenten Zähne nicht signifikant unterscheiden ( $p=0,509$ ).

Tab. 6: Post-Hoc Test, Vergleiche der einzelnen Gruppen miteinander

Bonferroni		
Abhängige Variable: $\Delta E$		
(I) visueller Transluzenzgrad	(J) visueller Transluzenzgrad	Signifikanz
niedrig_transluzent	mittel_transluzent	<b>1,000</b>
	hoch_transluzent	<b>1,000</b>
mittel_transluzent	niedrig_transluzent	<b>1,000</b>
	hoch_transluzent	<b>0,747</b>
hoch_transluzent	niedrig_transluzent	<b>1,000</b>
	mittel_transluzent	<b>0,747</b>

Vergleicht man, wie in Tabelle 6 erkennbar, die einzelnen Gruppen, wird deutlich, welche Gruppen sich nicht signifikant unterscheiden. In diesem Fall betrifft das alle Gruppen, die miteinander verglichen werden. Daraus folgt, dass sich der  $\Delta E$  Wert eines niedrigtransluzenten Zahnes verglichen mit dem eines mittel- und hochtransluzenten Zahnes nicht signifikant unterscheidet beim Anlegen und Entfernen der Zunge.

Nachfolgend werden die Daten der einzelnen Zähne betrachtet.

### 5.3 Vergleich der $\Delta E$ Werte hinsichtlich des Transluzenzgrades mit und ohne Anlegen der Zunge für die einzelnen Zähne

#### Zahn 11

Tab. 7: Vergleich der  $\Delta E$  Werte mit und ohne Anlegen der Zunge für die einzelnen Zähne, Zahn 11

$\Delta E$	Mittelwert	Std.- Abweichung	Minimum	Maximum
niedrig_transluzent	2,25	1,49	0,33	4,68
mittel_transluzent	2,79	2,10	0,41	6,53
hoch_transluzent	1,71	1,15	0,51	4,09
Gesamt	2,35	1,78	0,33	6,53

Betrachtet man den Mittelwert von  $\Delta E$  bei niedrigtransluzenten Zähnen, liegt dieser bei 2,25. Geringer fällt dieser jedoch bei hochtransluzenten Zähnen aus, denn  $\Delta E$  beträgt bei diesen im Mittel 1,71.

Tab. 8: ANOVA,  $\Delta E$  Wert des Zahnes 11

	<b>Signifikanz</b>
$\Delta E$	<b>0,161</b>

Die  $\Delta E$  Werte des Zahnes 11 unterscheiden sich zwischen den Gruppen nicht signifikant. Die Tabelle 9 zeigt, dass sich das auf alle Gruppen bezieht, deren  $\Delta E$  Werte verglichen werden ( $p=0,161$ ).

Tab. 9: Post-Hoc Test, Vergleich der einzelnen Gruppen miteinander, Zahn 11

Bonferroni		
Abhängige Variable: $\Delta E$		
(I) visueller Transluzenzgrad	(J) visueller Transluzenzgrad	Signifikanz
niedrig_transluzent	mittel_transluzent	<b>1,000</b>
	hoch_transluzent	<b>1,000</b>
mittel_transluzent	niedrig_transluzent	<b>1,000</b>
	hoch_transluzent	<b>0,176</b>
hoch_transluzent	niedrig_transluzent	<b>1,000</b>
	mittel_transluzent	<b>0,176</b>

Die Farbabweichung  $\Delta E$  des Zahnes 11 unterscheidet sich, verglichen mit anderen Transluzenzgraden, nicht signifikant.

### Zahn 12

Tab. 10: Vergleich der  $\Delta E$  Werte mit und ohne Anlegen der Zunge für die einzelnen Zähne, Zahn 12

$\Delta E$	Mittelwert	Std.-Abweichung	Minimum	Maximum
niedrig_transluzent	2,95	2,51	0,39	9,11
mittel_transluzent	2,71	2,44	0,57	11,94
hoch_transluzent	1,57	1,11	0,48	4,50
Gesamt	2,47	2,23	0,39	11,94

Tab. 11: ANOVA,  $\Delta E$  Wert des Zahnes 12

	Signifikanz
$\Delta E$	<b>0,232</b>

Im direkten Vergleich in Tabelle 11 wird deutlich, dass mit einer Signifikanz von 0,232 kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen besteht. Tabelle 12 verdeutlicht, dass dies ebenso für alle Gruppen die verglichen werden, gilt.

Tab. 12: Post-Hoc Test, Vergleich der einzelnen Gruppen miteinander, Zahn 12

Bonferroni		
Abhängige Variable: $\Delta E$		
(I) visueller Transluzenzgrad	(J) visueller Transluzenzgrad	Signifikanz
niedrig_transluzent	mittel_transluzent	<b>1,000</b>
	hoch_transluzent	<b>0,399</b>
mittel_transluzent	niedrig_transluzent	<b>1,000</b>
	hoch_transluzent	<b>0,392</b>
hoch_transluzent	niedrig_transluzent	<b>0,399</b>
	mittel_transluzent	<b>0,392</b>

### Zahn 13

Tab. 13: Vergleich der  $\Delta E$  Werte mit und ohne Anlegen der Zunge für die einzelnen Zähne, Zahn 13

$\Delta E$	Mittelwert	Std.- Abweichung	Minimum	Maximum
niedrig_transluzent	2,17	2,12	0,22	7,65
mittel_transluzent	1,87	1,32	0,20	5,64
Gesamt	1,95	1,56	0,20	7,65

Da bei der visuellen Zahnfarbbestimmung kein Eckzahn, aufgrund seiner Dicke und dunkleren Farbe, als hochtransluzent eingestuft wird, wird hier nur zwischen den Werten der niedrigen- und mitteltransluzenten Zähne unterschieden.

Wie auch bei den Zähnen 11 und 12 ist auch bei Zahn 13 anhand des Mittelwertes von  $\Delta E$ , in Tabelle 13 dargestellt, mit einem Mittelwert von 2,17 ein Farbunterschied messbar. Ebenso gilt dies für die mitteltransluzenten Zähne mit einem Mittelwert von 1,87.

Tab. 14: ANOVA,  $\Delta E$  Wert des Zahnes 13

	Signifikanz
$\Delta E$	<b>0,533</b>

Auch bei Zahn 13 ist kein signifikanter Unterschied ( $p=0,533$ ) der  $\Delta E$  Werte zwischen den Gruppen vorhanden, wie in Tabelle 14 dargestellt. Dementsprechend gibt es auch hier keinen signifikanten Unterschied im Farbabstand  $\Delta E$  im direkten Vergleich aller Gruppen.

Im Anhang befinden sich die Tabellen der Zähne 21-23, sowie der Zähne 31-43 zum weiteren Verständnis. Wie auch bei den Zähnen 11-13 feststellbar, gilt auch für die übrigen Zähne, dass ein Farbunterschied messbar ist. Erkennbar ist dies am Mittelwert der  $\Delta E$  Werte. Ebenso unterscheiden sich die  $\Delta E$ -Werte in den Post-Hoc Tests zwischen den Gruppen nicht signifikant. Ausnahme ist allerdings der Zahn 22, dessen Beurteilung befindet sich im Anhang.

Die Abbildung 34 zeigt die graphische Darstellung der  $\Delta E$  Werte aller gemessenen Zähne unterteilt in niedrig-, mittel- und hochtransluzent.

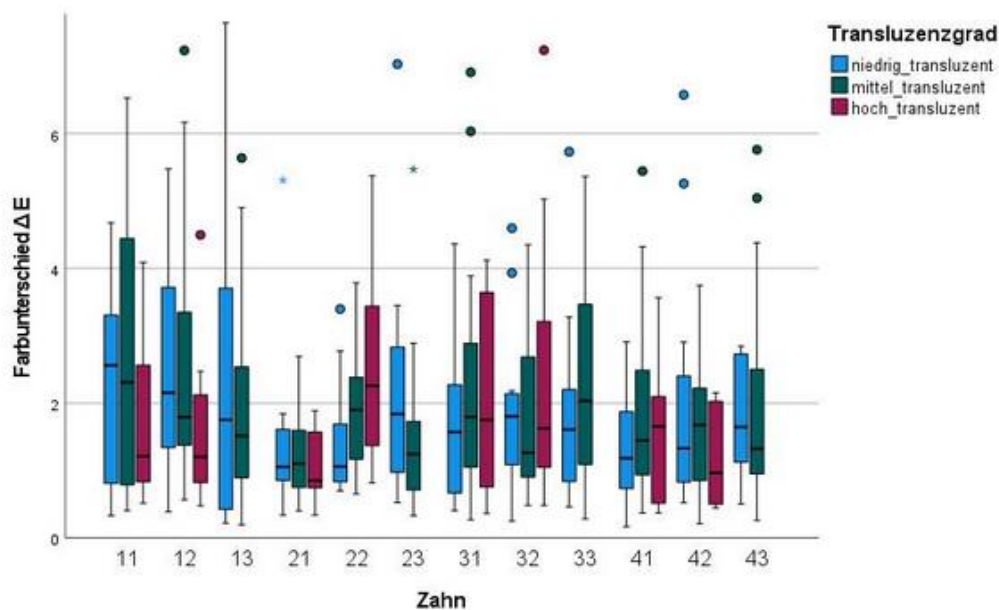


Abb. 34: Graphische Darstellung  $\Delta E$  Werte der Zähne 11-43, alle Transluzenzgrade

Wie oben beschrieben, betrachtet vom Mittelwert der  $\Delta E$  Werte, wird auch in Abbildung 38 deutlich, dass bei allen Zähnen ein Farbunterschied messbar ist.

#### 5.4 Vergleich der Farbkoordinaten zwischen dem Zustand mit und ohne Anlegen der Zunge in Abhängigkeit des Transluzenzgrades

Tab. 15: Vergleich der Farbkoordinaten mit und ohne angelegter Zunge in Abhängigkeit des Transluzenzgrades, visueller Transluzenzgrad = niedrigtransluzent

		Mittelwert	Std.- Abweichung	Minimum	Maximum
L	ohne Zunge	77,18	4,71	58,63	90,36
	mit Zunge	76,80	4,92	61,23	88,02
C	ohne Zunge	20,63	4,86	10,94	32,60
	mit Zunge	20,16	4,96	10,28	34,01
h	ohne Zunge	91,21	4,15	84,30	105,99
	mit Zunge	90,60	4,16	81,84	104,77
a	ohne Zunge	-0,17	1,24	-3,02	2,17
	mit Zunge	0,06	1,27	-2,74	3,16
b	ohne Zunge	20,58	4,89	10,52	32,58
	mit Zunge	20,12	4,97	10,04	33,97

Tab. 16: ANOVA, Vergleich der Farbkoordinaten mit und ohne angelegter Zunge, visueller Transluzenzgrad = niedrigtransluzent

	Signifikanz
L*	<b>0,136</b>
C*	<b>0,077</b>
h°	<b>0,006</b>
a*	<b>0,001</b>
b*	<b>0,079</b>

In Tabelle 15 sind die Werte der Farbkoordinaten mit und ohne Anlegen der Zunge dargestellt. Durch die ANOVA, in Tabelle 16 dargestellt, wird deutlich, dass sich nur die Werte der h° (p= 0,006) und a\* (p=0,001) - Farbkoordinaten signifikant voneinander unterscheiden. Daraus folgt, dass bei den L\*, C\* und b\* - Farbkoordinaten kein signifikanter Unterschied durch Anlegen und Entfernen der Zunge messbar ist.

Bei genauerer Betrachtung deckt sich dieses Erkenntnis jedoch nicht mit den anderen Transluzenzgraden, wie in Tabelle 17 und 18 deutlich wird.

Tab. 17: ANOVA, Vergleich der Farbkoordinaten mit und ohne angelegter Zunge, visueller Transluzenzgrad = mitteltransluzent

	<b>Signifikanz</b>
L*	<b>&lt;0,01</b>
C*	<b>&lt;0,01</b>
h°	<b>&lt;0,01</b>
a*	<b>&lt;0,01</b>
b*	<b>&lt;0,01</b>

Bei mitteltransluzenten Zähnen unterscheiden sich die Messwerte mit und ohne angelegter Zunge bei allen Farbkoordinaten statistisch signifikant ( $p < 0,01$ ).

Tab. 18: ANOVA, Vergleich der Farbkoordinaten mit und ohne angelegter Zunge, visueller Transluzenzgrad = hochtransluzent

	<b>Signifikanz</b>
L*	<b>0,012</b>
C*	<b>0,038</b>
h°	<b>&lt;0,01</b>
a*	<b>&lt;0,01</b>
b*	<b>0,109</b>

Bei den als hochtransluzent eingestuftten Zähnen unterscheiden sich die Werte der Farbkoordinaten L\* ( $p=0,012$ ), C\* ( $p=0,038$ ), h° ( $p < 0,01$ ) und a\* ( $p < 0,01$ ) Farbkoordinaten statistisch signifikant, bei der b\*-Farbkoordinate allerdings nicht ( $p=0,11$ ). Demzufolge ist bei mittel- und hochtransluzenten Zähnen ein signifikanter Unterschied der Farbkoordinaten messbar, bei niedrigtransluzenten Zähnen nur bei zwei der Farbkoordinaten.

## 5.5 Vergleich der Farbkoordinaten zwischen dem Zustand mit und ohne Anlegen der Zunge für die einzelnen Zähne

### Zahn 11

Tab. 19: ANOVA, Vergleich der Farbkoordinaten mit und ohne Zunge, Zahn 11

	<b>Signifikanz</b>
L*	<b>&lt;0,01</b>
C*	<b>0,027</b>
h°	<b>0,017</b>
a*	<b>&lt;0,01</b>
b*	<b>0,055</b>

Tabelle 19 zeigt die ANOVA der Farbkoordinaten des Zahnes 11 mit und ohne Zunge. Es wird deutlich, dass sich die Werte mit und ohne Zunge bei allen Farbkoordinaten signifikant unterscheiden. Die Farbkoordinate b\* liegt leicht über diesem Wert. Durch das Anlegen und Entfernen der Zunge war demzufolge eine statistisch signifikante Veränderung der Farbkoordinaten messbar.

Ähnlich sieht es bei Zahn 12 aus, wie in Tabelle 20 dargestellt ist.

### Zahn 12

Tab. 20: ANOVA, Vergleich der Farbkoordinaten mit und ohne Zunge, Zahn 12

	<b>Signifikanz</b>
L*	<b>0,001</b>
C*	<b>0,028</b>
h°	<b>0,016</b>
a*	<b>0,001</b>
b*	<b>0,046</b>

Auch bei Zahn 12 unterscheiden sich alle Farbkoordinaten statistisch signifikant durch das Anlegen und Entfernen der Zunge.

## Zahn 13

Tab. 21: ANOVA, Vergleich der Farbkoordinaten mit und ohne Zunge, Zahn 13

	<b>Signifikanz</b>
L*	<b>0,062</b>
C*	<b>0,207</b>
h°	<b>0,287</b>
a*	<b>0,071</b>
b*	<b>0,209</b>

Tabelle 21 zeigt, dass sich die Werte bei Zahn 13 aller Farbkoordinaten nicht signifikant unterscheiden.

Zum weiteren Verständnis befinden sich die Tabellen der anderen Zähne im Anhang.

Da eine signifikante Veränderung der Werte der Farbkoordinaten bei Zahn 11 messbar war, wurde davon ausgegangen, dass dies auch auf den Zahn 21 zutrifft. Diese Annahme konnte teilweise bestätigt werden, jedoch ist bei der C\*- und b\*-Farbkoordinate mit einer Signifikanz von  $p=0,105$  und  $p=0,203$  kein signifikanter Unterschied durch das Anlegen und Entfernen der Zunge messbar. Die Werte der L\*, h° und a\* - Farbkoordinaten unterscheiden sich allerdings signifikant. Bei Zahn 42 ist ein signifikanter Unterschied aller Farbkoordinaten vorhanden, abgesehen von der h°-Farbkoordinate, die mit einer Signifikanz von  $p=0,052$  direkt an der Grenze liegt. Zahn 22 zeigt wiederum einen signifikanten Unterschied der Werte der L\*, h° und a\* Farbkoordinaten. Bei dem Eckzahn 23 ergibt sich dieselbe Erkenntnis wie bei Zahn 13, denn alle Farbkoordinaten unterscheiden sich nicht signifikant.

Bei den restlichen Zähnen unterscheiden sich die Werte der Farbkoordinaten durch das Anlegen und Entfernen der Zunge nicht signifikant. Die einzige Ausnahme ist die a\*-Farbkoordinate. Ihre Werte unterscheiden sich bei fast allen Zähnen statistisch signifikant, lediglich bei Zahn 13, 23 und 43 gibt es keinen signifikanten Unterschied.

Mit Hilfe der Daten lässt sich feststellen, dass ein Anlegen der Zunge an die orale Zahnfläche eine signifikante Erhöhung der Werte der a\*-Farbkoordinate zur Folge hat.

Allerdings ist zu erwähnen, dass bei der Betrachtung der Werte mit und ohne angelegter Zunge bei den einzelnen Zähnen nicht in die drei Transluzenzgrade differenziert wurde.

Anhand der erhobenen Daten und deren Auswertung lässt sich zusammenfassend sagen, dass die mit dem ESV ermittelten Transluzenzgrade mit visuellen Transluzenzgraden korrelieren. Die erste Nullhypothese wurde somit widerlegt.

Die Werte der  $a^*$ -Farbkoordinate unterscheiden sich alle signifikant, außer bei Zahn 13, 23 und 43. Eine messbare Veränderung des Transluzenzgrades durch Anlegen und Entfernen der Zunge konnte nur bei Zahn 11, 12, 22 und 42 festgestellt werden, hier ist bei fast allen Farbkoordinaten ein signifikanter Unterschied messbar. Allerdings beinhalten die Werte der einzelnen Zähne alle Transluzenzgrade und es wurde nicht zwischen den einzelnen Transluzenzgraden differenziert.

Berücksichtigt man die zuvor festgelegten verschiedenen Transluzenzgrade erhält man eine andere Erkenntnis. Bei mittel- und hochtransluzenten Zähnen ist ein statistisch signifikanter Unterschied der Farbkoordinaten durch Anlegen und Entfernen der Zunge messbar, bei niedrigtransluzenten Zähnen nur bei zwei der fünf Farbkoordinaten. Daraus lässt sich schlussfolgern, dass mit Hilfe des ESV zumindest bei mittel- und hochtransluzenten Zähnen eine statistisch signifikante Änderung des Transluzenzgrades gemessen werden kann. Somit konnte die zweite Nullhypothese teilweise widerlegt werden.

## 5.6 Graphische Darstellung der Farbkoordinaten zwischen dem Zustand mit und ohne Anlegen der Zunge in Abhängigkeit des Transluzenzgrades für die einzelnen Zähne

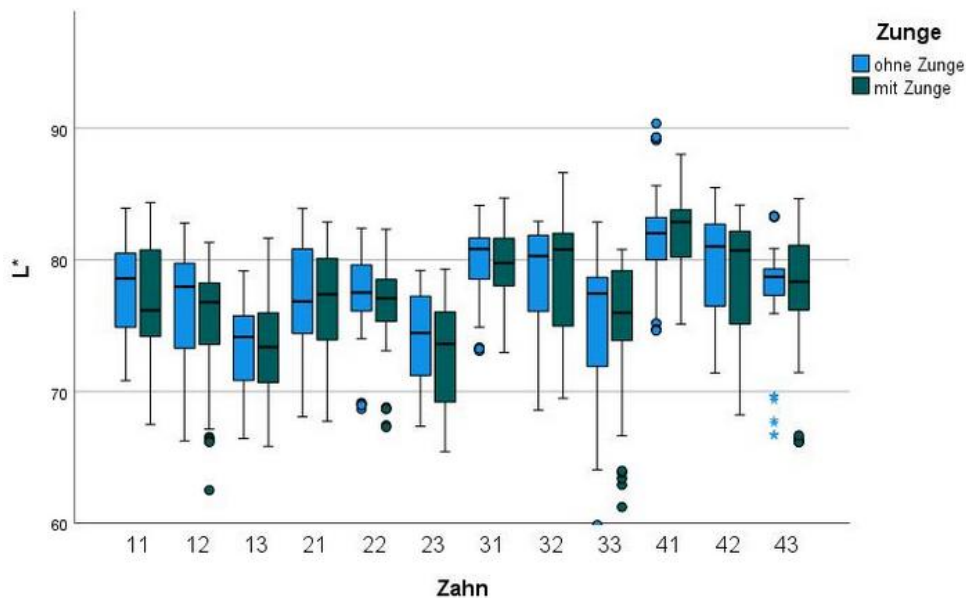


Abb. 35: Graphische Darstellung der L\*-Farbkoordinate der Zähne 11-43, visueller Transluzenzgrad = niedrigtransluzent

Die Abbildung 35 zeigt die graphische Darstellung der L\*-Farbkoordinate aller gemessenen Zähne in Form eines Box-Whiskers-Plots. Die blauen Boxen stellen die gemessenen Werte der L\*-Koordinate ohne an die orale Zahnfläche angelegte Zunge dar, während die grünen Boxen die Werte mit angelegter Zunge darstellen.

Betrachtet man z.B. bei Zahn 11 die Werte der Box ohne angelegte Zunge erstreckt sich diese von einem L\*-Wert von ca. 75 bis 81. Der Median liegt bei ungefähr 78. Das bedeutet, dass 50% der L\*-Werte unterhalb von 78 und 50% oberhalb davon liegen. Das untere Quartil liegt bei 75, daraus folgt, dass 25% der Werte unterhalb von 75 und dementsprechend 75% der Werte oberhalb des unteren Quartils liegen. Analog erfolgt dieselbe Aussage beim 3. Quartil bei 81, 25% der Werte liegen oberhalb von 81 und 75% liegen unterhalb von 81.

Verglichen mit der grünen Box, also mit angelegter Zunge, wird vor allem deutlich, dass nicht nur die Box größer ist, also ein höherer Interquartilsabstand vorhanden ist, sondern auch der Median, der hier bei ca. 76 liegt. Bei den anderen Zähnen liegt der Median nicht so weit auseinander.

Zudem wird deutlich, dass der untere Whisker der grünen Box deutlich länger ist, als der der blauen und somit liegen mehr Werte außerhalb dieser Box im Vergleich zur blauen Box.

Bei manchen Zähnen sind milde Ausreißer zu erkennen, wie bei Zahn 12 und 33, hier als Punkte dargestellt. An Zahn 43 sind extreme Ausreißer zu sehen, hier als Stern gekennzeichnet.

Zusätzlich ist auffällig, dass die L\*-Werte ausgehend von den mittleren Schneidezähnen, über die seitlichen, bis hin zu den Eckzähnen deutlich abnehmen.

Wie schon oben erwähnt unterscheiden sich die L\*-Werte zwischen den Gruppen der drei Transluzenzgrade signifikant. Wie in Abbildung 36 zu sehen, bestätigt die graphische Darstellung diese Erkenntnis.

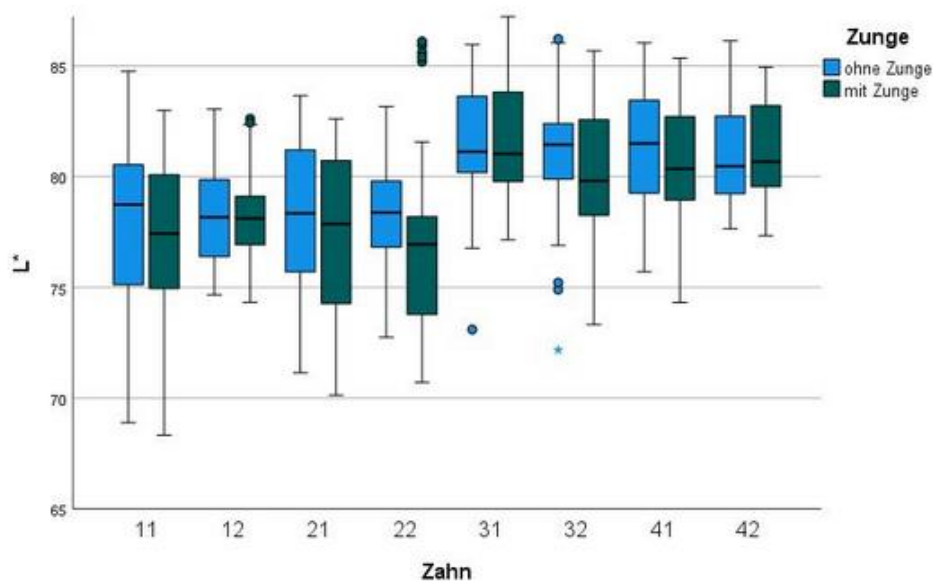


Abb. 36: Graphische Darstellung der L\*-Farbkoordinate der Zähne 11-42, visueller Transluzenzgrad = hochtransluzent

Alle Zähne der hochtransluzenten Gruppe haben, sowohl mit als auch ohne die orale angelegte Zunge, einen höheren L\*-Wert als die niedrigtransluzenten Zähne. Somit sind die visuell als hochtransluzent definierten Zähne auch messbar heller. Über die Eckzähne 13, 23, 33, 43 lässt sich hier keine Aussage treffen, da keiner der Eckzähne als hochtransluzent eingestuft wurde.

Weitere Erkenntnisse ergeben sich aus der graphischen Darstellung der C\*-Werte in Abbildung 37.

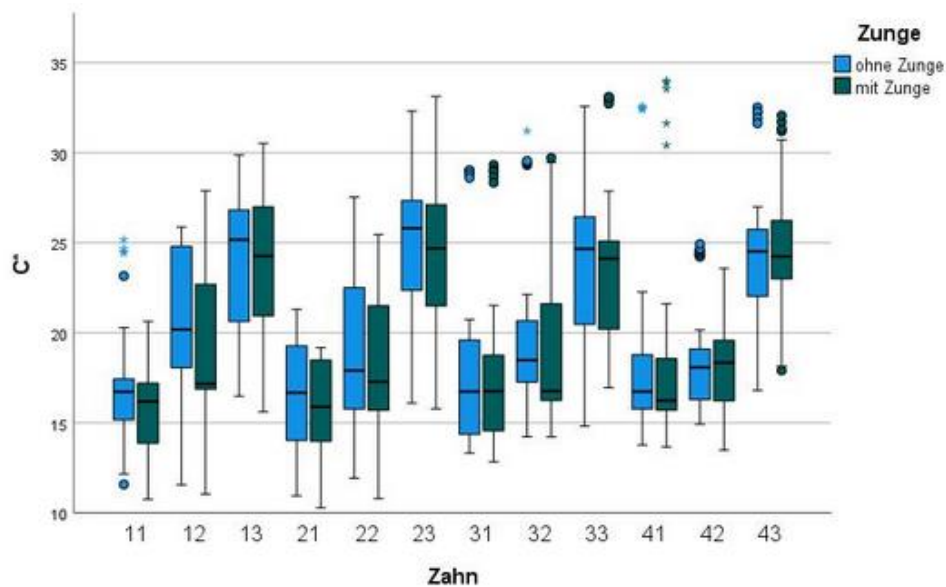


Abb. 37: Graphische Darstellung der C\*-Farbkoordinate der Zähne 11-43, visueller Transluzenzgrad = niedrigtransluzent

Die C\*-Werte, also die Sättigungsintensitäten der Eckzähne 13, 23, 33, 43 sind im Vergleich zu den mittleren und seitlichen Schneidezähnen deutlich höher.

Vergleicht man die C\*-Werte der Eckzähne von niedrigtransluzenten Zähnen mit denen der mitteltransluzenten, erhält man dieselbe Erkenntnis. Ein als niedrigtransluzent eingestufte Eckzahn besitzt einen höheren C\*-Wert als ein mitteltransluzenter Eckzahn, wie in Abbildung 38 graphisch dargestellt. Das gilt auch für die anderen Zähne.

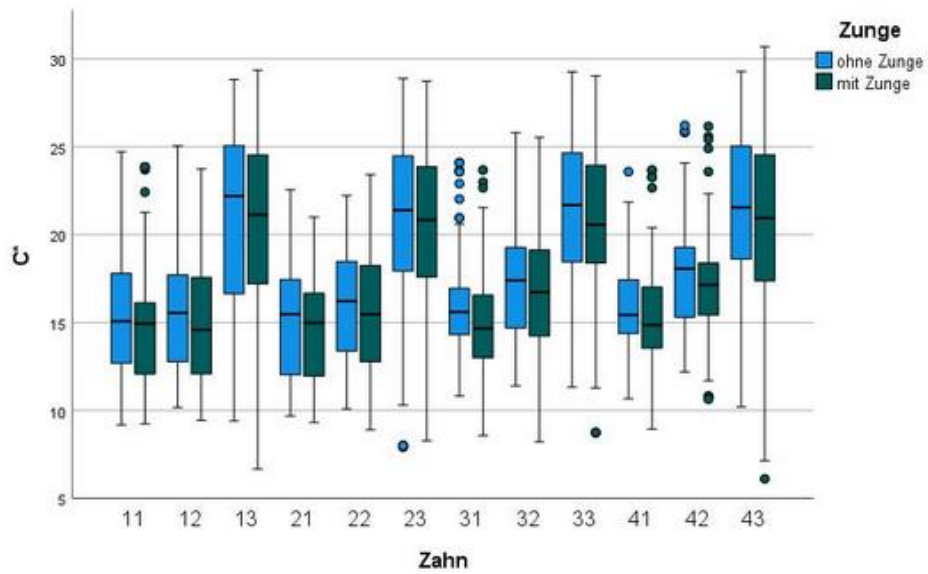


Abb. 38: Graphische Darstellung der C\*-Farbkoordinate der Zähne 11-43, visueller Transluzenzgrad = mitteltransluzent

Zum weiteren Verständnis befinden sich die graphischen Darstellungen der  $h^\circ$ ,  $a^*$  und  $b^*$ -Werte im Anhang.

## **6 Diskussion**

### **6.1 Diskussion von Methodik und Material**

Ziel dieser Studie ist es herauszufinden, ob mit Hilfe des digitalen Farbbestimmungsgerätes VITA Easyshade V der Transluzenzgrad eines Frontzahnes bestimmt werden kann und ob der messbare Transluzenzgrad mit dem visuellen Transluzenzgrad korreliert. Nach der Zustimmung der zuständigen Ethikkommission wurde bei 52 Probanden eine visuelle und digitale Transluzenzgradbestimmung an den Frontzähnen im Ober- und Unterkiefer vorgenommen.

Diverse Studien zeigten bereits, dass die digitale Farbbestimmung zu präziseren Ergebnissen führt als die visuelle Methode (1-4, 68-70).

Ausschlaggebend für die Problematik der visuellen Zahnfarbbestimmung sind vor allem die nicht vorhandene DIN-Norm der Farbskalen der Referenzzähne eines Farbrings. Sie unterliegen einer minderen Farbgenauigkeit innerhalb eines Farbrings und auch zwischen den Farbringen anderer Hersteller bestehen Unstimmigkeiten (41, 71). Zudem kann nicht nur eine fehlerhafte Farbbestimmung des Zahnarztes, sondern auch die Kommunikation des Zahnarztes mit dem Techniker eines Dentallabors auf die Richtigkeit der Farbe einer Restauration Einfluss nehmen (41).

Die neueren Farbbestimmungsgeräte zeigen, im Vergleich mit denen der älteren Generation, präzisere Ergebnisse, d.h. es wird viel Zeit in die Weiterentwicklung und Verbesserung dieser Geräte investiert, um deren Präzision zu verbessern. Es existieren bereits Ergebnisse, die die Verbesserung der Genauigkeit des VITA Easyshade V im direkten Vergleich mit seinem Vorgänger VITA Easyshade Advance belegen (72, 73).

Ein nicht zu vernachlässigender Faktor der digitalen Farbbestimmung ist, dass das Messgerät schon auf die kleinste Positionsänderung reagiert. Eine Wiederholung der Messung in einer geringfügig anderen Position kann das Messergebnis beeinflussen (5, 74, 75). Somit wird die Herstellung einer Positionierungshilfe in Form einer Schiene empfohlen. Des Weiteren gibt es aber auch wissenschaftliche Erkenntnisse, die diese These widerlegen (76). Eine für jeden Patienten individuell angefertigte

Positionierungsschiene zur digitalen Farbbestimmung erscheint als nicht besonders zweckmäßig und rentabel für den normalen Praxisalltag, bezogen auf die Abwägung von Vorteil und Aufwand, besonders wenn deren Vorteil infrage gestellt wird. In dieser Studie wurde keine Positionierungsschiene für jeden Probanden angefertigt, da es auch Studienergebnisse gibt, die den Erfolg einer solchen Schiene anzweifeln und Messerfolge nicht maßgeblich beeinflusst werden (77). Um den Vorgang praxistauglich zu gestalten, wurde wie schon erwähnt, auf eine Positionierungsschiene verzichtet. Die insgesamt 12 Frontzähne eines jeden Probanden wurden jeweils 10 mal (5 mal ohne und 5 mal mit angelegter Zunge an die orale Zahnoberfläche) schnellstmöglich hintereinander gemessen, um eine eventuell auftretende kleine Positionsänderung des Gerätes am Zahn zu verhindern. Auf diese Art erscheint auch eine digitale Farbbestimmung im Praxisalltag sowohl zeitlich als auch kostentechnisch praktikabel. Jedoch könnte dieser Faktor in der Studie Einfluss auf die Messgenauigkeit genommen haben und eventuell sind daher Streuwerte und Ausreißer in der Erfassung der Daten entstanden.

Eine exakte Positionierung des ESV ist nicht immer einfach. Vergleicht man die Oberfläche eines mittleren Frontzahnes mit der eines Eckzahnes, ist die des Eckzahnes deutlich stärker gekrümmt. Dies erschwert das bündige Ansetzen des ESV und das Licht der 5 mm großen Lichtquelle könnte gestreut werden und somit Einfluss auf die Messung und damit auch auf den Transluzenzgrad nehmen (78, 79).

Dieser Faktor spiegelt sich auch in den erhobenen Daten wider, denn es konnte vor allem bei den Eckzähnen keine messbare Veränderung der Transluzenz durch Anlegen und Entfernen festgestellt werden.

Da, wie oben beschrieben, auch die Austrocknung des Zahnes eine große Rolle bei der Farbbestimmung spielt, wurde auf übermäßiges Trocknen des Zahnes und Isolierung mit Kofferdam verzichtet (16, 40). Zudem würde die Farbe des Kofferdams eventuell Einfluss auf die Farbbestimmung oder die Transluzenzgradbestimmung nehmen (46, 80).

Um die Versuchsbedingungen für alle Probanden möglichst gleich zu halten, erfolgten die Messungen am selben Ort, in einem Büro eines angestellten Zahnarztes der Universitätsmedizin Mainz. Eine kleine Testreihe an verschiedenen Orten in der

Uniklinik bestätigte diese Annahme, doch der ausschlaggebendste Faktor war die in dem Büro befindliche Lichtquelle mit Normlichtart (Just Normlicht), die dort an der Zimmerdecke montiert ist, da die Lichtquelle enormen Einfluss auf die Genauigkeit einer Farbbestimmung hat (42, 50, 81-83). Die Messungen erfolgten trotzdem bei geöffneten Rollläden, daher könnten eventuell die außerhalb vorherrschenden Lichtverhältnisse Einfluss genommen haben. Da die an der Zimmerdecke montierte Lichtquelle aber Tageslichtqualität (6500K, 2000 Lux) besitzt, wird dieser Faktor eher geringeren Einfluss auf die Messergebnisse genommen haben. Ausschließen könnte man die Annahme nur dann, wenn die Messungen in einem völlig abgedunkelten Raum, ausschließlich mit der an der Decke befindlichen Normlichtquelle erfolgen. Laut Angaben des Herstellers werden die Messergebnisse des ESV jedoch nicht vom Umgebungslicht beeinflusst (67).

Jede Messung wurde mit exakt demselben Gerät vorgenommen, da es auch hier Erkenntnisse gibt, dass die gleichen Farbbestimmungsgeräte (unterschiedliche Geräte, gleiche Serie) unterschiedliche Ergebnisse liefern (84). Somit können Messfehler aufgrund der Anwendung verschiedener Messgeräte ausgeschlossen werden.

Vor jeder Messeinheit wurde ein Weißabgleich des ESV durch eine Kalibrierung vorgenommen, um eine weitere Beeinflussung der Messergebnisse auszuschließen.

## **6.2 Diskussion der Ergebnisse**

### **6.2.1 Digitale Transluzenzgradbestimmung und Korrelation mit dem visuellen Transluzenzgrad**

Die unterschiedlich transluzenten Schichten von Zahnschmelz und Dentin sind ausschlaggebend für die Farbe eines Zahnes (1).

Diverse Studien haben sich mit Transluzenz und deren Veränderung beschäftigt. Zum einen wurde festgestellt, wie sich das Alter auf die Transluzenz eines Zahnes auswirkt, denn die Transluzenz des Schmelzes nimmt mit steigendem Alter zu (13). Andere wiederum bewiesen, dass Kaffee die Transluzenz eines Zahnes vermindert, während Wasser- und Vodka die Transluzenz erhöhen (85). Zum anderen wurde festgestellt, dass gebleichte Zähne einen geringeren Transluzenzgrad aufweisen als nicht behandelte Zähne (86). Viele Studien beschäftigen sich auch mit der Transluzenz dentaler Werkstoffe, um herauszufinden welches Material am besten zu den Gegebenheiten der Situation im Patientenmund passt, um ein möglichst originalgetreues Ergebnis zu erreichen (87, 88). Zudem wurde bewiesen, dass die Dicke und chemische Zusammensetzung dentaler Werkstoffe enormen Einfluss auf die Transluzenz einer Restauration haben (89). Lithiumdisilikatkeramik gilt als besonders transluzenter Werkstoff unter den Dentalkeramiken, jedoch zählt sie, bezogen auf den Härtegrad, zu den schwächeren Keramiken. Im Gegensatz dazu ist die Zirkoniumdioxidkeramik weniger transluzent, jedoch in den Materialeigenschaften deutlich härter und stärker (90). Hat die verwendete Keramik einen besonders hohen Transluzenzgrad und ist somit lichtdurchlässiger, hat der darunterliegende eventuell verfärbte Zahn oder beispielsweise ein Implantat einen größeren Einfluss auf die Zahnfarbe einer Restauration (91). Eine besonders transluzente Restauration wirkt natürlich, jedoch gestaltet es sich damit besonders schwierig, die farbgebenden Strukturen darunter zu überdecken. Weiterhin liegen Erkenntnisse darüber vor, wie viel Zahnhartsubstanz für welches Material entfernt werden muss, um eine Restauration möglichst transluzent wirken zu lassen (88).

Da alle Probanden gesunde Frontzähne besitzen und die visuelle und digitale Farbestimmung nicht durch aufgeklebte Glitzersteinchen, Retainer, Füllungen oder

zahnärztlichen Restaurationen beeinflusst wurden, war die Ausgangssituation bei allen Probanden weitestgehend gleich.

Das Konsumverhalten, bezüglich Tabak und Kaffee oder ob regelmäßig ein Bleaching der Zähne vorgenommen wird, wurde in dieser Studie nicht berücksichtigt.

Forscher bestätigten durch ihre Studie, dass es keine signifikanten Unterschiede in der visuellen Zahnfarbbestimmung zwischen Keramiktechnikern, Zahnärzten mit Berufserfahrung und Studenten der Zahnmedizin gibt (92). Bekannt ist, dass die Zahnfarbbestimmung und somit auch eine Einstufung des visuellen Transluzenzgrades eine subjektive Entscheidung ist (28). Da in dieser Studie ausschließlich von der Doktorandin eine Einstufung des Transluzenzgrades stattgefunden hat und die digitalen Messungen erfolgt sind, sind diese Faktoren nicht sonderlich einflussgebend.

Durch die Gruppierung in niedrig-, mittel- und hochtransluzente Zähne konnte, aufgrund seiner Dicke und dunkleren Farbe, kein Eckzahn als hochtransluzent eingestuft werden. Deshalb umfasst die Interpretation der Daten lediglich die niedrig- und mitteltransluzenten Eckzähne.

Dieser Faktor spiegelt sich in den Daten wider, denn es ist keine Transluzenzgradveränderung an den Eckzähnen messbar. Allgemein wird deutlich, dass niedrigtransluzente Zähne weniger lichtdurchlässig sind und deshalb keine signifikante Veränderung der Farbkoordinaten durch Anlegen und Entfernen der Zunge messbar ist. Es liegen bereits Erkenntnisse darüber vor, dass mit Hilfe des Easyshade Advance 4.0, einem Vorgänger des ESV, festgestellt werden konnte, dass sich Schneide-, Eck- und Backenzähne farblich unterscheiden (93). In einer weiteren Studie wurden die Farbabweichungen der mittleren Frontzähne des Oberkiefers von anderen Frontzähnen mit einem  $\Delta E$  Wert von 3,1 bis 6,7 beschrieben (94). Darüber hinaus wurde bewiesen, dass die Frontzähne des Oberkiefers helleres Dentin besitzen und die Eck- und Backenzähne im Vergleich weniger transluzent sind (95). Die hier vorliegenden Daten bestätigen diese Erkenntnisse. Dass Ober- und Unterkiefer Frontzähne unterschiedliche Farbtöne besitzen, wurde in einer anderen Studie bewiesen. Hierbei wurde festgestellt, dass die Eckzähne im Ober- und Unterkiefer

dunkler und gelb-rötlich, die Oberkiefer Schneidezähne heller und gelb-grünlich und die Unterkiefer Schneidezähne heller und blau-grünlich sind (96). Auch diese Erkenntnisse decken sich mit den vorliegenden Daten, wobei die Werte der Unterkiefer Frontzähne in dieser Studie eher im gelb-grünlichen Bereich liegen. Allerdings wurde in der zuvor erwähnten Studie nicht nur ein Teilbereich des Zahnes gemessen, wie es in dieser Studie der Fall ist.

Forscher bestätigten eine signifikante Korrelation der Farbkoordinaten zwischen den mittleren und seitlichen Frontzähnen, während sich die Werte der Eckzähne signifikant von diesen unterscheiden (97). Des Weiteren konnte mit Hilfe des Easyshade Advance 4.0 festgestellt werden, dass seitliche und mittlere Schneidezähne niedrigere  $a^*$ - und  $b^*$ -Werte haben als Eck- und Backenzähne (93). Andere Forscher wiederum stellten fest, dass die  $L^*$ -Werte der Schneidezähne höher sind, als die der Eckzähne (98) und die Eckzähne auch gesättigter sind, also einen höheren  $C^*$ -Wert besitzen (99). Die in dieser Studie ermittelten Daten bestätigen diese Ergebnisse. In der Literatur wird beschrieben, dass die Farbbestimmung eines fehlenden Zahnes nicht an den Nachbarzähnen, sondern an dessen symmetrischen Zahn in der anderen Kieferhälfte erfolgen soll (94). Anhand der vorliegenden Daten erscheint dies auch sinnvoll, denn die Werte der Farbkoordinaten des Eckzahnes 13 sind ähnlicher zu den Werten des Zahnes 23 als zu den Zähnen 12 und 11.

Es wurde angenommen, dass bei unterschiedlich transluzent eingestuften Zähnen unterschiedlich hohe Farbkoordinaten bei der digitalen Erfassung der Farbkoordinaten erkennbar sind. In der vorliegenden Studie wurde festgestellt, dass mit Hilfe des ESV zwischen verschiedenen transluzenten Zähnen unterschieden werden kann. Die erfassten Daten zeigen eindeutig, dass sich die Werte der Farbkoordinaten eines bestimmten zuvor visuell festgelegten Transluzenzgrades signifikant von denen eines anderen Transluzenzgrades unterscheiden. Diese Erkenntnis gilt für alle zuvor festgelegten Transluzenzgrade, demzufolge niedrig-, mittel- und hochtransluzente Zähne. Zudem kann der ESV bei mittel- und hochtransluzenten Zähnen eine Transluzenzgradveränderung durch Anlegen und Entfernen der Zunge erfassen.

Wie in Tabelle 1 dargestellt, weisen alle Farbkoordinaten Ausreißer auf. Die  $L$ -Werte der niedrigtransluzent eingestuften Zähne haben ein Minimum von 58,63 und ein

Maximum von 90,36. Die Werte der a-Farbkoordinate der als hochtransluzent eingestuften Zähne erstrecken sich von einem Minimum von -4,34 bis zu einem Maximum von 1,30. Diese Diskrepanz der Werte könnte darauf beruhen, dass keine Positionierungshilfe verwendet wurde und deshalb kleine Positionsänderungen während der Messungen erfolgt sind. Allerdings hat das nur geringfügigen Einfluss auf die Messergebnisse genommen, da die Werte der Farbkoordinaten innerhalb einer Gruppe eines Transluzenzgrades nah beieinander liegen, verglichen mit anderen Transluzenzgraden sich jedoch statistisch signifikant unterscheiden.

Laut Herstellerangaben können sich die Ergebnisse der Messungen unterscheiden, wenn die Lichtquelle des ESV nicht mittig im Bereich der Grundfarbe positioniert ist (67). Allerdings wurde bereits bewiesen, dass eine Lichtquelle mit einem Durchmesser von 5 mm eine große Fläche besitzt und somit die Grundfarbe umfassend bei der Messung abdeckt (100).

Ein Schneidezahn hat eine große und plane Oberfläche, verglichen mit der eines Eckzahnes (78, 101). Dadurch ist ein statistisch signifikanter Unterschied der Werte aller Farbkoordinaten bei Zahn 11 und 12 durch Anlegen und Entfernen der Zunge messbar. Allerdings gilt das nicht für die anderen Zähne. Durch die gekrümmte Oberfläche der Eckzähne ist kein bündiges Ansetzen des ESV möglich. Das Licht der Messspitze wird gestreut und kann somit die Messergebnisse beeinflussen (93). Da bei der Einzelbetrachtung der Zähne zwischen den einzelnen Transluzenzgraden nicht differenziert wurde, konnte nicht bei allen Zähnen eine Änderung des Transluzenzgrades festgestellt werden, da hierbei auch die Werte der niedrigtransluzent eingestuften Zähne inkludiert sind. Wie schon erwähnt, kann der ESV bei niedrigtransluzenten Zähnen keine Änderung des Transluzenzgrades durch Anlegen und Entfernen der Zunge feststellen, was die Auswertung und Interpretation der Daten der einzelnen Zähne beeinflusst.

Eine Kalibrierung des ESV erfolgte nach jeder 10. Messung (5 ohne und 5 mit angelegte Zunge). Dass eine zu häufige Kalibrierung des Gerätes die Messergebnisse beeinflusst, wurde in einer Studie bewiesen. Eine Kalibrierung nach jeder Messung galt als häufige, eine nach 10 Messungen als seltene Kalibrierung (102). Zudem erschien diese Vorgehensweise als sinnvoll, da so die Gefahr einer Positionsänderung

des ESV in einem Messzyklus weitestgehend minimiert wurde. Eine Kalibrierung nach 5 Messungen ohne Zunge und erneutes Ansetzen des ESV für 5 Messungen mit Zunge könnte eine große Positionsänderung zur Folge haben. Somit wurde diese Problematik weitestgehend minimiert.

### **6.2.2 Der Farbunterschied $\Delta E$**

Betrachtet man die Farbabweichung  $\Delta E$  bei den als niedrigtransluzent eingestuften Zähne 12, wird deutlich, dass mit einem  $\Delta E$  Wert von 2,95 ein Farbunterschied zwischen angelegter und nicht angelegter Zunge an die orale Zahnoberfläche messbar ist. Da sich die ermittelten  $\Delta E$  Werte sowohl innerhalb als auch zwischen den Gruppen nicht signifikant voneinander unterscheiden, bedeutet das, dass sie alle, durch das Anlegen und nicht Anlegen der Zunge, ungefähr gleiche oder nicht signifikant unterschiedliche Farbabweichungen haben. Bei Zahn 43, bei dem durch das Anlegen und Entfernen kein signifikanter Unterschied der Farbkoordinaten messbar ist, liegt der  $\Delta E$  Wert zwischen 1,83 bei mittel- und 2,36 bei niedrigtransluzenten Zähnen. Somit ist zwar ein Farbunterschied messbar, jedoch fällt dieser geringer aus als bei beispielsweise Zahn 12.

Zur Interpretation von  $\Delta E$  Werten existieren unterschiedliche Definitionen.

$\Delta E$  Werte von 0,13 bis 0,6 wurden in einer Studie als Farbabweichung bei digitalen Farbbestimmungsgeräten definiert. In dieser Studie wurde allerdings eine Positionierungshilfe in Form einer Messchiene verwendet (103).

Andere Studien wiederum definieren eine Farbabweichung ab einem  $\Delta E$  Wert von 1 bis 3, Werte unter 2 werden wiederum als schwierig zu differenzieren definiert (63). Weitere Studien gaben eine Höchstgrenze des  $\Delta E$  Wertes von 3,7 an, wobei alles darüber hinaus für Patienten bei ihrem Zahnersatz als nicht akzeptabel empfunden wurde (104). Andere wiederum gaben einen  $\Delta E$  Wert von 3,3 als noch akzeptablen Schwellenwert an (105). Die Untergrenze, eine Farbabweichung wahrzunehmen, liegt bei 1 bei bestmöglichen Messvoraussetzungen, behaupten wiederum andere Studien (106).

Die aufgrund der nicht vorhandenen Messchiene entstandenen geringfügigen Positionsänderungen während des Messvorgangs könnten die Farbabweichung  $\Delta E$  beeinflusst haben, allerdings unterscheiden sich die  $\Delta E$  Werte nicht signifikant, weshalb der Einfluss auf die Messergebnisse als gering eingeschätzt wird.

Eine zu starke Farbabweichung der L\*-Farbkoordinate, also der Helligkeit, wurde in der Literatur, als die am einfachsten erkennbare Farbabweichung bei einer fehlerhaften Farbbestimmung beschrieben. Zudem wurde bewiesen, dass vor allem der Helligkeitswert für die korrekte Farbbestimmung wichtig ist und dadurch die besten ästhetischen Ergebnisse erzielt werden können (107, 108). Die in dieser Studie ermittelten Daten zeigen, dass der ESV in der Lage ist, bei mittel- und hochtransluzenten Zähnen eine Farbabweichung der L\*-Farbkoordinate zu erfassen und somit eine zuverlässige Farb- und Transluzenzbestimmung möglich ist.

Abschließend ist festzuhalten, dass das ESV zwischen verschiedenen visuellen Transluzenzgraden zuverlässig unterscheiden kann und auch eine Änderung des Transluzenzgrades durch Anlegen und Entfernen der Zunge bei mittel- und hochtransluzenten Zähnen messbar ist, wie in den erhobenen Daten signifikant gezeigt werden konnte.

Um sich nicht wie bei der visuellen Bestimmungsmethode auf die Kommunikation zwischen Zahnarzt und Techniker oder Farbtreue der verschiedenen Farbskalen verlassen zu müssen, könnte mit Hilfe der Messwerte des ESV eine Erleichterung im Praxisalltag geschaffen werden. Der Techniker könnte die vom Zahnarzt gemessenen Werte im Labor an seiner Restauration überprüfen und ein möglichst originalgetreues Ergebnis erzielen. Somit hätte der Patient, der Behandler und der Techniker ein zuverlässigeres Ergebnis, denn eine nachfolgende Änderung der fertigen Restauration wirkt sich auf die Patientenzufriedenheit sowie die Kosten der Behandlung aus (68).

## 7 Zusammenfassung

Das Ziel dieser Studie ist die Evaluation der Transluzenz von Frontzähnen unter Verwendung eines digitalen Farbbestimmungssystems und deren Vergleich mit einem zuvor visuell festgelegten Transluzenzgrad. Dazu wurden jeweils 12 Frontzähne bei insgesamt 52 Teilnehmer/-innen in drei verschiedene visuell bestimmbare Transluzenzgrade, nämlich niedrig-, mittel- und hochtransluzent, eingeteilt. Die Ergebnisse wurden für den späteren Vergleich mit den digitalen Messungen gesammelt und gespeichert.

Nachfolgend wurde mit Hilfe des digitalen Farbbestimmungssystems ESV jeder Frontzahn im Modus Grundfarbbestimmung gemessen und unter anderem die Farbkoordinaten  $L^*$ ,  $C^*$ ,  $h^\circ$ ,  $a^*$  und  $b^*$  bestimmt. Insgesamt erfolgten 6240 Messungen, in denen jeder Frontzahn 10 Messungen, 5 mit und 5 ohne an die orale Zahnfläche angelegte Zunge, unterzogen wurde. Die Daten wurden gesammelt, komprimiert und mit Hilfe des Statistikprogramms SPSS ausgewertet.

Durch einheitliche Messbedingungen wurden eventuell einflussnehmende Faktoren weitestgehend minimiert.

Anhand der durch das ESV ermittelten Farbkoordinaten  $L^*$ ,  $C^*$ ,  $h^\circ$ ,  $a^*$  und  $b^*$  und der visuellen Einteilung in die drei verschiedenen Transluzenzgrade konnten mit Hilfe der ANOVA signifikante Unterschiede der Werte der Farbkoordinaten festgestellt werden.

Mit dem nachfolgend durchgeführten Post-Hoc Test war es anhand der Daten möglich, die zuvor als visuell niedrigtransluzent eingestuften Zähne von mittel- und hochtransluzenten Zähnen zu unterscheiden. Die Messungen hatten nicht nur in bestimmten einzelnen Gruppen signifikante Unterschiede, sondern es waren ebenfalls im direkten Vergleich aller Gruppen signifikante Unterschiede der Messwerte der Farbkoordinaten vorhanden.

Somit ist es mit Hilfe des ESV möglich anhand der Farbkoordinaten unterschiedlich transluzente Zähne voneinander zu unterscheiden.

Durch die Bestimmung der Farbdifferenz  $\Delta E$  wurde festgestellt, dass eine Farbabweichung messbar war, denn die  $\Delta E$  Werte lagen im Mittel zwischen 1,80 und 2,03.

Durch die ANOVA wurde deutlich, dass sich die  $\Delta E$  Werte nicht signifikant unterscheiden und der Post-Hoc Test erwies, dass das für alle Gruppen gilt.

Bei genauerer Untersuchung der  $\Delta E$  Werte der einzelnen Zähne, bestätigt sich die vorherige Erkenntnis, dass ein Farbunterschied messbar ist und sich dieser nicht signifikant von anderen unterscheidet.

Daraus lässt sich schlussfolgern, dass es, mit Hilfe des ESV möglich ist, nicht nur unterschiedlich transluzente Zähne voneinander zu unterscheiden, sondern auch eine Veränderung des Transluzenzgrades an einem einzelnen Zahn, durch Anlegen und Entfernen der Zunge an die Zahnoberfläche zu bestimmen. Allerdings ist das nur bei mittel- und hochtransluzenten Zähnen messbar. Da sich die  $\Delta E$  Werte der verschiedenen Zähne nicht signifikant unterscheiden bedeutet das, dass die Farbabweichung durch Anlegen und Entfernen der Zunge bei allen Zähnen ähnlich ist.

Abschließend ist festzuhalten, dass der ESV in der Lage ist unterschiedliche Transluzenzgrade zu erfassen. Diese Erkenntnis kann positiven Einfluss auf die möglichst perfekte restaurative Zahnmedizin ausüben.

Es gilt nachfolgend zu prüfen, ob unter Berücksichtigung eines vom Zahnarzt mit Hilfe digitaler Farbbestimmungsgeräte bestimmten Transluzenzgrades eines Zahnes und dessen direkter Vergleich des Technikers an seiner Restauration zu einem zufriedenstellenderen Ergebnis führt und somit nachfolgend nötige Korrekturen einer fertigen Restauration minimieren kann. Letztendlich kann dies den Praxisalltag erleichtern, denn der Patient wird mit einem originalgetreueren Ergebnis glücklicher sein.

## 8 Literaturverzeichnis

1. Chiche GJ. Provisional restorations in anterior procedures. *Dent Today*. 1994;13(7):32, 4-7.
2. Paravina RD, Johnston WM, Powers JM. New shade guide for evaluation of tooth whitening--colorimetric study. *Journal of esthetic and restorative dentistry : official publication of the American Academy of Esthetic Dentistry [et al]*. 2007;19(5):276-83; discussion 83.
3. Chu SJ, Trushkowsky RD, Paravina RD. Dental color matching instruments and systems. Review of clinical and research aspects. *J Dent*. 2010;38 Suppl 2:e2-16.
4. Da Silva JD, Park SE, Weber HP, Ishikawa-Nagai S. Clinical performance of a newly developed spectrophotometric system on tooth color reproduction. *J Prosthet Dent*. 2008;99(5):361-8.
5. Gehrke P, Riekeberg U, Fackler O, Dhom G. Comparison of in vivo visual, spectrophotometric and colorimetric shade determination of teeth and implant-supported crowns. *International journal of computerized dentistry*. 2009;12(3):247-63.
6. Khurana R, Tredwin CJ, Weisbloom M, Moles DR. A clinical evaluation of the individual repeatability of three commercially available colour measuring devices. *British dental journal*. 2007;203(12):675-80.
7. Kim-Pusateri S, Brewer JD, Dunford RG, Wee AG. In vitro model to evaluate reliability and accuracy of a dental shade-matching instrument. *The Journal of prosthetic dentistry*. 2007;98(5):353-8.
8. Sheets CG. Modern dentistry and the esthetically aware patient. *Journal of the American Dental Association (1939)*. 1987;Spec No:103e-5e.
9. Mayekar SM. Shades of a color. Illusion or reality? *Dent Clin North Am*. 2001;45(1):155-72, vii.
10. Chang JY, Chen WC, Huang TK, Wang JC, Fu PS, Chen JH, et al. Evaluating the accuracy of tooth color measurement by combining the Munsell color system and dental colorimeter. *The Kaohsiung journal of medical sciences*. 2012;28(9):490-4.
11. Clark EB. An analysis of tooth color. *The Journal of the American Dental Association (1922)*. 1931;18(11):2093-103.
12. Joiner A. Tooth colour: a review of the literature. *Journal of dentistry*. 2004;32 Suppl 1:3-12.
13. Lee Y-K, editor *Translucency of human teeth and dental restorative materials and its clinical relevance* 2015: SPIE.
14. Kaltenbach FE. *Translucent materials: Glass, plastics, metals*. Berlin, Germany: Birkhäuser 2004.
15. Eugène C. Measurement of "Total Visual Appearance" A CIE challenge of soft metrology. In *Proceedings of 12th IMEKO TC1 & TC7 Joint Symposium on Man, Science & Measurement*. Annecy, France (pp. 61–65). IMEKO. Annecy, France (pp. 61–65). IMEKO 2008.

16. Brodbelt RH, O'Brien WJ, Fan PL, Frazer-Dib JG, Yu R. Translucency of human dental enamel. *J Dent Res.* 1981;60(10):1749-53.
17. Morgan J. Introduction to geometric and physical optics New York: McGraw-Hill Book Company; 1953.
18. Winter R. Visualizing the natural dentition. *J Esthet Dent.* 1993;5(3):102-17.
19. Xiao B, Walter B, Gkioulekas I, Zickler T, Adelson E, Bala K. Looking against the light: how perception of translucency depends on lighting direction. *J Vis.* 2014;14(3):17.
20. Xiong F, Chao Y, Zhu Z. Translucency of newly extracted maxillary central incisors at nine locations. *J Prosthet Dent.* 2008;100(1):11-7.
21. Billmeyer F, Saltzman M. Principles of Color Technology 4th Edition. John Wiley & Sons I, editor. New York 1981.
22. Newton I. Opticks, or, a treatise of the reflections, refractions, inflections & colours of light: Courier Corporation. 1952.
23. Newton I. New Theory about Light and Colours. In *Philosophical Transactions IV*: S 80. 1672.
24. Goethe JW. Zur Farbenlehre, Band 2, Seite 2. Jazzybee Verlag JB, editor. Deutschland 1810.
25. Goethe JW. Goethes Farbkreis, aquarellierte Federzeichnung von Goethe, Original: Freies Deutsches Hochstift. Frankfurter Goethe-Museum 1809.
26. Welsch N, Liebmann C. Farben Natur Technik Kunst 3. Auflage S. 227. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag; 2012.
27. Helmholtz H, König A. Handbuch der physiologischen Optik 2. Auflage S.344. Hamburg und Leipzig: Verlag von Leopold Voss.; 1896.
28. Land EH. The retinex theory of color vision. *Sci Am.* 1977;237(6):108-28.
29. Baltzer A, Kaufmann-Jinoian V. Die Bestimmung der Zahnfarben; 30(7):726-41: Quintessenz; 2004.
30. Sands S. Just Paint Munsell Color System. 2017.
31. CIE. Recommendations on uniform color spaces, color-difference equations, psychometric color terms 1978.
32. Schmidt R, Lang F. Physiologie des Menschen mit Pathophysiologie 30. Auflage. Verlag SM, editor. Heidelberg 2007.
33. Frank H. Das für den Menschen sichtbare Spektrum (Licht). 2005.
34. Fermum L. Wechselwirkungen an der Oberfläche [Online]. 2009.
35. Reich G, Reppich M. Regenerative Energietechnik, Kapitel 3, S.111. Springer Verlag 2018.
36. Spektrum. Schematische Darstellung des Wahrnehmungsprozesses bis hin zur Farbempfindung, Lexikon der Kartographie und Geomatik, Farbensehen 2001.
37. Funk G. Aufbau des menschlichen Auges 2006.

38. Welsch N, Liebmann C. Stationen des Sehens, S.238 2012.
39. Yamamoto MJCQ. Metal-ceramics S.268-02 1985.
40. Preston J. Farbe in der zahnärztlichen Keramik. Hersg. in: Schärer P, Rinn L, Kopp F. Ästhetische Richtlinien für die rekonstruktive Zahnheilkunde. Quintessenz, S 13-25. 1980.
41. Sorensen JA, Torres TJ. Improved color matching of metal-ceramic restorations. Part I: A systematic method for shade determination. J Prosthet Dent. 1987;58(2):133-9.
42. Corcodel N, Rammelsberg P, Moldovan O, Dreyhaupt J, Hassel AJ. Effect of external light conditions during matching of tooth color: an intraindividual comparison. Int J Prosthodont. 2009;22(1):75-7.
43. Barrett AA, Grimaudo NJ, Anusavice KJ, Yang MC. Influence of tab and disk design on shade matching of dental porcelain. J Prosthet Dent. 2002;88(6):591-7.
44. Della Bona A, Barrett AA, Rosa V, Pinzetta C. Visual and instrumental agreement in dental shade selection: three distinct observer populations and shade matching protocols. Dent Mater. 2009;25(2):276-81.
45. Igjel C, Lehmann KM, Ghinea R, Weyhrauch M, Hangx Y, Scheller H, et al. Reliability of visual and instrumental color matching. J Esthet Restor Dent. 2017;29(5):303-8.
46. Bücking W. Die dentale Trickkiste 2. unveränderte Auflage. Berlin: Quintessenz 2011.
47. Okubo SR, Kanawati A, Richards MW, Childress S. Evaluation of visual and instrument shade matching. J Prosthet Dent. 1998;80(6):642-8.
48. Sproull R. Color order systems and their application in dentistry In: Yamada NH, editor Dental porcelain: the state of the art. 1977 p. 317–21
49. Haddad HJ, Jakstat HA, Arnetz G, Borbely J, Vichi A, Dumfahrt H, et al. Does gender and experience influence shade matching quality? J Dent. 2009;37 Suppl 1:e40-4.
50. Curd FM, Jasinevicius TR, Graves A, Cox V, Sadan A. Comparison of the shade matching ability of dental students using two light sources. J Prosthet Dent. 2006;96(6):391-6.
51. Alsaleh S, Labban M, AlHariri M, Tashkandi E. Evaluation of self shade matching ability of dental students using visual and instrumental means. J Dent. 2012;40 Suppl 1:e82-7.
52. Paravina RD. Summary of: Factors influencing the shade matching performance of dentists and dental technicians when using two different shade guides. Br Dent J. 2011;211(11):528-9.
53. Bahannan SA. Shade matching quality among dental students using visual and instrumental methods. J Dent. 2014;42(1):48-52.
54. Reitemeier B, Schwenzler N, Ehrenfeld M. Einführung in die Zahnmedizin, Aufbau der einzelnen Zahnschichten. Thieme 2006.

55. Schröder H. Pathobiologie oraler Strukturen. Karger, ISBN 3-8055-6286-1. Basel 1997.
56. Touati B, Miara P, Nathanson D, Schmalz G, Federlin M, Touati MN. Ästhetische Zahnheilkunde und keramische Restaurationen. 2001.
57. Hasegawa A, Ikeda I, Kawaguchi S. Color and translucency of in vivo natural central incisors. *J Prosthet Dent.* 2000;83(4):418-23.
58. Baltzer A, Kaufmann-Jinoian V. Shading of ceramic crowns using digital tooth shade matching devices. *The International Journal of Computerized Dentistry* 8 (2), S 129–152. 2005.
59. Lautenbach E. Wörterbuch Zahnmedizin Zahn-Mund-Kiefer-Gesicht, Verlag für Zahnmedizin. 1992.
60. Hegenbarth E. Systematik der individuellen keramischen Farbgestaltung Berlin Quintessenz Verlag; 1988.
61. Schiebler T, Schmidt W. Anatomie, 10. Auflage, S. 431. Wien: Steinkopf Verlag; 2007.
62. Amato M, Krastl G. Verfärbter obliterierter Frontzahn. *Stomatologie.* . 2012; 109(4-5):40-4.
63. Baltzer A, Kaufmann-Jinoian V. Die digitale Farbmessung der Zähne. *Quintessenz Zahntech* 30:8, 834-858. 2004.
64. Chu SJ DA, Mielezsko AJ. Fundamentals of Color: Shade Matching and Communication in Esthetic Dentistry. Quintessenz International Berlin. 2006.
65. Faber F. Die Bestimmung der Zahnfarbe. *Deutsche Zahnärztliche Zeitschrift* 57: 448-449. 2002.
66. Küppers H. Farbenlehre. Köln: DuMont Buchverlag 2012.
67. VITA Zahnfabrik H. Rauter GmbH & Co. KG, Bedienungsanleitung VITA Easyshade V, Bad Säckingen.
68. Corcodel N, Zenthöfer A, Setz J, Rammelsberg P, Hassel AJ. Estimating costs for shade matching and shade corrections of fixed partial dentures for dental technicians in Germany: a pilot investigation. *Acta Odontol Scand.* 2011;69(5):319-20.
69. Dozić A, Kleverlaan CJ, El-Zohairy A, Feilzer AJ, Khashayar G. Performance of five commercially available tooth color-measuring devices. *J Prosthodont.* 2007;16(2):93-100.
70. Lehmann KM, Igiel C, Schmidtman I, Scheller H. Four color-measuring devices compared with a spectrophotometric reference system. *J Dent.* 2010;38 Suppl 2:e65-70.
71. Preston JD. Current status of shade selection and color matching. *Quintessence Int.* 1985;16(1):47-58.
72. Klotz AL, Habibi Y, Corcodel N, Rammelsberg P, Hassel AJ, Zenthöfer A. Laboratory and clinical reliability of two spectrophotometers. *J Esthet Restor Dent.* 2022;34(2):369-73.

73. Klotz AL, Habibi Y, Hassel AJ, Rammelsberg P, Zenthöfer A. How reliable and accurate is the shade determination of premolars by spectrophotometry? *Clin Oral Investig.* 2020;24(4):1439-44.
74. Tung FF, Goldstein GR, Jang S, Hittelman E. The repeatability of an intraoral dental colorimeter. *J Prosthet Dent.* 2002;88(6):585-90.
75. Witkowski S, Yajima ND, Wolkewitz M, Strub JR. Reliability of shade selection using an intraoral spectrophotometer. *Clin Oral Investig.* 2012;16(3):945-9.
76. Degeys N, Phark J, Jasinevicius T, Sadan A. Influence of varying a spectrophotometer's angulation on shade-selection accuracy. *The Journal of Dental Research* 2008 (87), S 2918. 2008.
77. Blum SL, Horn M, Olms C. A comparison of intraoral spectrophotometers-Are there user-specific differences? *J Esthet Restor Dent.* 2018.
78. O'Brien WJ, Nelson D, Lorey RE. The assessment of Chroma sensitivity to porcelain pigments. *J Prosthet Dent.* 1983;49(1):63-6.
79. Lehmann KM, Devigus A, Igiel C, Wentaschek S, Azar MS, Scheller H. Repeatability of color-measuring devices. *Eur J Esthet Dent.* 2011;6(4):428-35.
80. Burki Z, Watkins S, Wilson R, Fenlon M. A randomised controlled trial to investigate the effects of dehydration on tooth colour. *J Dent.* 2013;41(3):250-7.
81. Paravina RD. Evaluation of a newly developed visual shade-matching apparatus. *Int J Prosthodont.* 2002;15(6):528-34.
82. Paul SJ, Peter A, Rodoni L, Pietrobon N. Conventional visual vs spectrophotometric shade taking for porcelain-fused-to-metal crowns: a clinical comparison. *Int J Periodontics Restorative Dent.* 2004;24(3):222-31.
83. Lee YK, Yoon TH, Lim BS, Kim CW, Powers JM. Effects of colour measuring mode and light source on the colour of shade guides. *J Oral Rehabil.* 2002;29(11):1099-107.
84. Kim HK. Evaluation of the repeatability and matching accuracy between two identical intraoral spectrophotometers: an in vivo and in vitro study. *J Adv Prosthodont.* 2018;10(3):252-8.
85. Tan BL, Yap AU, Ma HN, Chew J, Tan WJ. Effect of beverages on color and translucency of new tooth-colored restoratives. *Oper Dent.* 2015;40(2):E56-65.
86. Ma X, Jiang T, Sun L, Wang Z, Zhou Y, Wang Y. Effects of tooth bleaching on the color and translucency properties of enamel. *Am J Dent.* 2009;22(6):324-8.
87. Johnston WM. Review of translucency determinations and applications to dental materials. *J Esthet Restor Dent.* 2014;26(4):217-23.
88. Ghodsi S, Jafarian Z. A Review on Translucent Zirconia. *Eur J Prosthodont Restor Dent.* 2018;26(2):62-74.
89. Carrabba M, Keeling AJ, Aziz A, Vichi A, Fabian Fonzar R, Wood D, et al. Translucent zirconia in the ceramic scenario for monolithic restorations: A flexural strength and translucency comparison test. *J Dent.* 2017;60:70-6.

90. Reale Reyes A, Dennison JB, Powers JM, Sierraalta M, Yaman P. Translucency and flexural strength of translucent zirconia ceramics. *J Prosthet Dent*. 2021.
91. Kelly JR, Benetti P. Ceramic materials in dentistry: historical evolution and current practice. *Aust Dent J*. 2011;56 Suppl 1:84-96.
92. McMaugh DR. A comparative analysis of the colour matching ability of dentists, dental students, and ceramic technicians. *Aust Dent J*. 1977;22(3):165-7.
93. Pop-Ciutrila IS, Colosi HA, Dudea D, Badea ME. Spectrophotometric color evaluation of permanent incisors, canines and molars. A cross-sectional clinical study. *Clujul Med*. 2015;88(4):537-44.
94. Lee YK. Color Correlations among Six Types of Permanent Anterior Teeth. *J Esthet Restor Dent*. 2016;28 Suppl 1:S5-s13.
95. Pop-Ciutrila IS, Ghinea R, Colosi HA, Dudea D. Dentin translucency and color evaluation in human incisors, canines, and molars. *J Prosthet Dent*. 2016;115(4):475-81.
96. Turgut S, Kilinc H, Eyupoglu GB, Bagis B. Color relationships of natural anterior teeth: An In vivo study. *Niger J Clin Pract*. 2018;21(7):925-31.
97. Dozić A, Kleverlaan CJ, Aartman IH, Feilzer AJ. Relations in color among maxillary incisors and canines. *Dent Mater*. 2005;21(3):187-91.
98. Goodkind RJ, Schwabacher WB. Use of a fiber-optic colorimeter for in vivo color measurements of 2830 anterior teeth. *J Prosthet Dent*. 1987;58(5):535-42.
99. Zhao Y, Zhu J. In vivo color measurement of 410 maxillary anterior teeth. *Chin J Dent Res*. 1998;1(3):49-51.
100. Kim-Pusateri S, Brewer JD, Davis EL, Wee AG. Reliability and accuracy of four dental shade-matching devices. *J Prosthet Dent*. 2009;101(3):193-9.
101. Brosch V. Zahnformen - Der isoliert zu betrachtende Zahn. Brosch Dental, Rita Brosch. 2012.
102. Olms C, Martin V. Reproducibility and reliability of intraoral spectrophotometers. 2019; 1:67-75.
103. Douglas RD, Brewer JD. Variability of porcelain color reproduction by commercial laboratories. *J Prosthet Dent*. 2003;90(4):339-46.
104. Johnston WM, Kao EC. Assessment of appearance match by visual observation and clinical colorimetry. *J Dent Res*. 1989;68(5):819-22.
105. Ruyter IE, Nilner K, Moller B. Color stability of dental composite resin materials for crown and bridge veneers. *Dent Mater*. 1987;3(5):246-51.
106. Seghi RR, Johnston WM, O'Brien WJ. Performance assessment of colorimetric devices on dental porcelains. *J Dent Res*. 1989;68(12):1755-9.
107. Reyes J, Acosta P, Ventura D. Repeatability of the human eye compared to an intraoral scanner in dental shade matching. *Heliyon*. 2019;5(7):e02100.

108. Sirintawat N, Leelaratrungruang T, Poovarodom P, Kiattavorncharoen S, Amornsettachai P. The Accuracy and Reliability of Tooth Shade Selection Using Different Instrumental Techniques: An In Vitro Study. *Sensors (Basel)*. 2021;21(22).

Fachbereich 04 Universitätsmedizin Mainz  
Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik und Werkstoffkunde  
Augustusplatz 2, 55131 Mainz Gebäude 902

Doktorandin Svenja Meub

## **Evaluation der Transluzenz von Frontzähnen unter Verwendung eines digitalen Farbbestimmungssystems**

### **Einwilligungserklärung**

Name des Patienten in Druckbuchstaben: .....

- Ich bin von ..... über Wesen, Bedeutung und Tragweite der Studie sowie die sich für mich daraus ergebenden Anforderungen aufgeklärt worden. Ich habe darüber hinaus den Text der Patientenaufklärung und dieser Einwilligungserklärung gelesen.
- Ich hatte ausreichend Zeit, Fragen zu stellen und mich zu entscheiden. Aufgetretene Fragen wurden mir vom Studienarzt, oder der approbierten Doktorandin beantwortet.
- Ich weiß, dass ich meine freiwillige Mitwirkung jederzeit beenden kann, ohne dass mir daraus Nachteile entstehen.

Ich erkläre mich bereit, an der Studie teilzunehmen.

1. Ich willige ein, dass personenbezogene Daten über mich, insbesondere mein Name, wie in der Informationsschrift beschrieben erhoben und in Papierform sowie auf elektronischen Datenträgern im Fachbereich 04 der Universitätsmedizin Mainz in der Poliklinik für zahnärztliche Prothetik und Werkstoffkunde aufgezeichnet werden.

2. Ich bin darüber aufgeklärt worden, dass ich meine Einwilligung jederzeit widerrufen kann. Im Falle des Widerrufs werden keine weiteren Daten mehr erhoben. Ich kann in diesem Fall die Löschung der Daten verlangen.

3. Ich willige ein, dass die Daten nach Beendigung oder Abbruch der klinischen Prüfung mindestens 5 Jahre aufbewahrt werden.

### **Ich willige in die Verarbeitung der genannten Daten ein.**

Ein Exemplar der Informationsschrift und der Einwilligungserklärung habe ich erhalten. Ein Exemplar verbleibt im Prüfzentrum.

### **Unterschrift des Teilnehmers/der Teilnehmerin**



Fachbereich 04 Universitätsmedizin Mainz  
Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik und Werkstoffkunde  
Augustusplatz 2, 55131 Mainz Gebäude 902

Doktorandin Svenja Meub

### **Informationsschrift für Probanden**

#### **Evaluation der Transluzenz von Frontzähnen unter Verwendung eines digitalen Farbbestimmungssystems**

Sehr geehrter Proband, sehr geehrte Probandin,

hiermit möchten wir Sie fragen, ob Interesse besteht an der nachfolgend beschriebenen Studie teilzunehmen. Die Teilnahme ist selbstverständlich freiwillig.

Ziel dieser Studie ist es, herauszufinden, ob es mit Hilfe eines digitalen Farbbestimmungssystems möglich ist, die Lichtdurchlässigkeit eines Zahnes reproduzierbar zu bestimmen. Jeder Frontzahn im Ober- und im Unterkiefer wird jeweils 5-mal mit und ohne an die Zahnrückseite angelegte Zunge gemessen. Dieser Vorgang wird einmalig ca. 20 Minuten in Anspruch nehmen.

Die Studie wird im Fachbereich 04 der Universitätsmedizin Mainz Poliklinik für zahnärztliche Prothetik und Werkstoffkunde durchgeführt und von XXX geleitet. Es werden insgesamt 52 Probanden im Fachbereich 04 der Universitätsmedizin teilnehmen.

Die Teilnahme an dieser Studie ist freiwillig. Sie werden nur dann einbezogen, wenn Sie dazu schriftlich Ihre Einwilligung erklären. Sofern Sie nicht an der Studie teilnehmen oder später aus ihr ausscheiden möchten, entstehen Ihnen dadurch keine Nachteile. Sie können jederzeit, auch ohne Angabe von Gründen, Ihre Einwilligung mündlich oder schriftlich widerrufen.

Die Studie wurde der zuständigen Ethikkommission vorgelegt. Sie hat keine Einwände erhoben.

#### **Mögliche Risiken, Beschwerden und Begleiterscheinungen**

Da im Rahmen unserer Studie nur Daten erhoben werden, sind mit der Teilnahme keine medizinischen Risiken verbunden.

### **Möglicher Nutzen aus Ihrer Teilnahme an der Studie**

Sie werden durch Ihre Teilnahme an dieser Studie keinen Nutzen für Ihre Gesundheit haben.

### **Datenschutz**

- Rechtsgrundlage für die Datenverarbeitung ist Ihre freiwillige Einwilligung (Art. 6 Abs. 1 Buchst. c) DSGVO).
- Der Verantwortliche für die Datenverarbeitung ist: der Studienleiter Prof. Dr. XXX, sowie die Doktorandin Svenja Meub

Die Daten werden zu jeder Zeit vertraulich behandelt. Die Daten werden in pseudonymisierter Form an den Studienleiter bzw. von ihm beauftragte Stellen zum Zweck der wissenschaftlichen Auswertung weitergeleitet. Zugriff auf die personenbezogenen Daten haben nur die zuständigen Personen im jeweiligen Studienzentrum.

Pseudonymisieren bedeutet, dass die personenbezogenen Daten wie z.B. der Name ohne Hinzuziehung einer Liste nicht mehr einer konkreten Person zugeordnet werden können. Die personenbezogenen Daten werden durch einen Nummerncode ersetzt. Im Studienzentrum ist eine Liste hinterlegt, auf der die Namen den Nummern- und/oder Buchstabencodes zugeordnet sind. Diese Liste wird im Studienzentrum gesondert aufbewahrt und unterliegt dort technischen und organisatorischen Maßnahmen, die gewährleisten, dass die personenbezogenen Daten Ihnen durch unbefugte Personen nicht zugeordnet werden können. Eine Entschlüsselung erfolgt nur bei auftretenden Messfehlern, um eine erneute Messung desselben Probanden durchführen zu können.

Die Daten werden 5 Jahre nach Beendigung oder Abbruch der Studie aufbewahrt. Sie sind gegen unbefugten Zugriff gesichert. Sie werden gelöscht, wenn sie nicht mehr benötigt werden. Spätestens nach 5 Jahren werden sie gelöscht.

### **Sind mit der Datenverarbeitung Risiken verbunden?**

Bei jeder Erhebung, Speicherung, Nutzung und Übermittlung von Daten bestehen Vertraulichkeitsrisiken (z.B. die Möglichkeit, die betreffende Person zu identifizieren). Diese Risiken lassen sich nicht völlig ausschließen und steigen, je mehr Daten miteinander verknüpft werden können. Der Initiator der Studie versichert Ihnen, alles nach dem Stand der Technik Mögliche zum Schutz Ihrer Privatsphäre zu tun und Daten nur an Stellen weiterzugeben, die ein geeignetes Datenschutzkonzept vorweisen können. Medizinische Risiken sind mit der Datenverarbeitung nicht verbunden.

### **Kann ich meine Einwilligung widerrufen?**

Sie können Ihre jeweilige Einwilligung jederzeit ohne Angabe von Gründen schriftlich oder mündlich widerrufen, ohne dass Ihnen daraus ein Nachteil entsteht. Wenn Sie Ihre Einwilligung widerrufen, werden keine weiteren Daten mehr erhoben. Die bis zum Widerruf erfolgte Datenverarbeitung bleibt jedoch rechtmäßig.

Sie können im Fall des Widerrufs auch die Löschung Ihrer Daten verlangen.

### **Welche weiteren Rechte habe ich bezogen auf den Datenschutz?**

Sie haben das Recht, vom Verantwortlichen Auskunft über die von Ihnen gespeicherten personenbezogenen Daten (einschließlich der kostenlosen Überlassung einer Kopie der Daten) zu verlangen. Ebenfalls können Sie die Berichtigung unzutreffender Daten sowie gegebenenfalls eine Übertragung der von Ihnen zur Verfügung gestellten Daten und die Einschränkung ihrer Verarbeitung verlangen.

Bitte wenden Sie sich im Regelfall an das Studienzentrum, denn allein das Studienzentrum kann aufgrund des Pseudonymisierungsprozesses vollumfänglich auf Ihre Daten zugreifen bzw. entsprechende Auskünfte geben. Der Initiator der Studie kann vor diesem Hintergrund nur sehr begrenzt helfen.

Bei Anliegen zur Datenverarbeitung und zur Einhaltung der datenschutzrechtlichen Anforderungen können Sie sich auch an folgende Datenschutzbeauftragte wenden:

- a) Datenschutzbeauftragter des Studienzentrums

Dr. Johannes Peter Fritsch, [datenschutz@unimedizin-mainz.de](mailto:datenschutz@unimedizin-mainz.de)

Sie haben ein Beschwerderecht bei jeder Aufsichtsbehörde für den Datenschutz. Eine Liste der Aufsichtsbehörden in Deutschland finden Sie unter

[https://www.bfdi.bund.de/DE/Infothek/Anschriften\\_Links/anschriften\\_links-node.html](https://www.bfdi.bund.de/DE/Infothek/Anschriften_Links/anschriften_links-node.html)

Vorsorglich werden Sie darauf hingewiesen, dass eine Versicherung für nicht schuldhaft verursachte Schäden, die im Zusammenhang mit der Studie auftreten können, nicht abgeschlossen wurde. Ein Versicherungsschutz besteht damit nur, wenn den Arzt oder einen anderen Mitarbeiter der Prüfstelle der Vorwurf eines schuldhaften Fehlverhaltens trifft. Zugunsten des Studienteilnehmers können dabei in bestimmten Fällen Beweiserleichterungen eintreten (Bürgerliches Gesetzbuch, § 630h: zur Beweislast bei Haftung für Aufklärungs- oder Behandlungsfehler). Wegeunfälle sind ebenfalls nicht versichert.

Bei Fragen melden Sie sich bitte per E-Mail unter der Adresse: XXX

## Ergebnisse:

Tab. 22: Vergleich der  $\Delta E$  Werte mit und ohne Anlegen der Zunge für die einzelnen Zähne, Zahn 21

**Deskriptive Statistik<sup>a</sup>**

Delta\_E

	N	Mittelwert	Std.-Abweichung	Std.-Fehler	95% Konfidenzintervall des Mittelwerts		Minimum	Maximum
					Untergrenze	Obergrenze		
niedrig_transluzent	10	1,5012	1,41261	,44671	,4907	2,5117	,34	5,31
mittel_transluzent	26	1,2340	,62796	,12315	,9804	1,4877	,40	2,69
hoch_transluzent	16	1,0772	,49859	,12465	,8115	1,3428	,34	1,89
Gesamt	52	1,2371	,80017	,11096	1,0144	1,4599	,34	5,31

a. Zahn = 21

Tab. 23: ANOVA, Vergleiche der  $\Delta E$  Werte des Zahnes 21 zwischen und innerhalb der Gruppen

**ANOVA<sup>a</sup>**

Delta\_E

	Quadratsumme	df	Mittel der Quadrate	F	Sig.
Zwischen den Gruppen	1,107	2	,553	,860	,430
Innerhalb der Gruppen	31,547	49	,644		
Gesamt	32,654	51			

a. Zahn = 21

Tab. 24: Post-Hoc Test, Vergleich der einzelnen Gruppen miteinander, Zahn 21

**Mehrere Vergleiche<sup>a</sup>**

Abhängige Variable: Delta\_E

Bonferroni

(I) visuelltransluzent	(J) visuelltransluzent	Mittelwertdifferenz (I-J)	Std.-Fehler	Sig.	95% Konfidenzintervall	
					Untergrenze	Obergrenze
niedrig_transluzent	mittel_transluzent	,26713	,29857	1,000	-,4730	1,0073
	hoch_transluzent	,42402	,32345	,588	-,3778	1,2258
mittel_transluzent	niedrig_transluzent	-,26713	,29857	1,000	-1,0073	,4730
	hoch_transluzent	,15689	,25495	1,000	-,4751	,7889
hoch_transluzent	niedrig_transluzent	-,42402	,32345	,588	-1,2258	,3778
	mittel_transluzent	-,15689	,25495	1,000	-,7889	,4751

a. Zahn = 21

Tab. 25: Vergleich der  $\Delta E$  Werte mit und ohne Anlegen der Zunge für die einzelnen Zähne, Zahn 22

**Deskriptive Statistik<sup>a</sup>**

Delta_E	N	Mittelwert	Std.-Abweichung	Std.-Fehler	95% Konfidenzintervall des Mittelwerts		Minimum	Maximum
					Untergrenze	Obergrenze		
niedrig_transluzent	11	1,4314	,93249	,28116	,8050	2,0579	,70	3,40
mittel_transluzent	27	1,8673	,85746	,16502	1,5281	2,2065	,65	3,79
hoch_transluzent	14	2,7889	1,94777	,52056	1,6423	3,8915	,82	8,10
Gesamt	52	2,0173	1,32384	,18358	1,6488	2,3859	,65	8,10

a. Zahn = 22

Tab. 26: ANOVA, Vergleiche der  $\Delta E$  Werte des Zahnes 22 zwischen und innerhalb der Gruppen

**ANOVA<sup>a</sup>**

Delta_E	Quadratsumme	df	Mittel der Quadrate	F	Sig.
Zwischen den Gruppen	12,249	2	6,125	3,891	,027
Innerhalb der Gruppen	77,131	49	1,574		
Gesamt	89,381	51			

a. Zahn = 22

Tab. 27: Post-Hoc Test, Vergleich der einzelnen Gruppen miteinander, Zahn 22

**Mehrere Vergleiche<sup>a</sup>**

Abhängige Variable: Delta\_E  
Bonferroni

(I) visuelltransluzent	(J) visuelltransluzent	Mittelwertdifferenz (I-J)	Std.-Fehler	Sig.	95% Konfidenzintervall Untergrenze	Obergrenze
niedrig_transluzent	mittel_transluzent	-,43592	,44878	1,000	-1,5484	,6766
	hoch_transluzent	-1,33547*	,50551	,033	-2,5886	-,0823
mittel_transluzent	niedrig_transluzent	,43592	,44878	1,000	-,6766	1,5484
	hoch_transluzent	-,89955	,41320	,103	-1,9239	,1248
hoch_transluzent	niedrig_transluzent	1,33547*	,50551	,033	,0823	2,5886
	mittel_transluzent	,89955	,41320	,103	-,1248	1,9239

a. Zahn = 22  
\*. Die Mittelwertdifferenz ist in Stufe 0.05 signifikant.

Vergleicht man in Tabelle 27 die  $\Delta E$  Werte der niedrig transluzenten Zähne mit denen der hoch transluzenten Zähne unterscheiden sich diese statistisch signifikant

Tab. 28: Vergleich der  $\Delta E$  Werte mit und ohne Anlegen der Zunge für die einzelnen Zähne, Zahn 23

**Deskriptive Statistik<sup>a</sup>**

Delta_E	N	Mittelwert	Std.-Abweichung	Std.-Fehler	95% Konfidenzintervall des Mittelwerts		Minimum	Maximum
					Untergrenze	Obergrenze		
niedrig_transluzent	13	2,1931	1,73152	,48024	1,1468	3,2395	,52	7,03
mittel_transluzent	39	1,7554	2,47389	,39614	,9535	2,5574	,33	15,72
Gesamt	52	1,8649	2,30264	,31932	1,2238	2,5059	,33	15,72

a. Zahn = 23

Tab. 29: ANOVA, Vergleiche der  $\Delta E$  Werte des Zahnes 23 zwischen und innerhalb der Gruppen

**ANOVA<sup>a</sup>**

Delta_E	Quadratsumme	df	Mittel der Quadrate	F	Sig.
Zwischen den Gruppen	1,868	1	1,868	,348	,558
Innerhalb der Gruppen	268,543	50	5,371		
Gesamt	270,410	51			

a. Zahn = 23

Tab. 30: Vergleich der  $\Delta E$  Werte mit und ohne Anlegen der Zunge für die einzelnen Zähne, Zahn 31

**Deskriptive Statistik<sup>a</sup>**

Delta_E	N	Mittelwert	Std.-Abweichung	Std.-Fehler	95% Konfidenzintervall des Mittelwerts		Minimum	Maximum
					Untergrenze	Obergrenze		
niedrig_transluzent	11	1,7624	1,26529	,38150	,9124	2,6125	,41	4,37
mittel_transluzent	32	2,1239	1,54459	,27305	1,6670	2,6808	,27	6,91
hoch_transluzent	9	2,0518	1,45382	,48481	,9341	3,1691	,38	4,12
Gesamt	52	2,0349	1,45487	,20175	1,6299	2,4400	,27	6,91

a. Zahn = 31

Tab. 31: ANOVA, Vergleiche der  $\Delta E$  Werte des Zahnes 31 zwischen und innerhalb der Gruppen

**ANOVA<sup>a</sup>**

Delta\_E

	Quadratsumme	df	Mittel der Quadrate	F	Sig.
Zwischen den Gruppen	1,073	2	,536	,246	,783
Innerhalb der Gruppen	106,877	49	2,181		
Gesamt	107,950	51			

a. Zahn = 31

Tab. 32: Post-Hoc Test, Vergleich der einzelnen Gruppen miteinander, Zahn 31

**Mehrere Vergleiche<sup>a</sup>**

Abhängige Variable: Delta\_E

Bonferroni

(I) visuelltransluzent	(J) visuelltransluzent	Mittelwertdifferenz (I-J)	Std.-Fehler	Sig.	95% Konfidenzintervall Untergrenze	Obergrenze
niedrig_transluzent	mittel_transluzent	-,36147	,51619	1,000	-1,6411	,9181
	hoch_transluzent	-,28912	,66381	1,000	-1,9347	1,3564
mittel_transluzent	niedrig_transluzent	,36147	,51619	1,000	-,9181	1,6411
	hoch_transluzent	,07235	,55724	1,000	-1,3090	1,4537
hoch_transluzent	niedrig_transluzent	,28912	,66381	1,000	-1,3564	1,9347
	mittel_transluzent	-,07235	,55724	1,000	-1,4537	1,3090

a. Zahn = 31

Tab. 33: Vergleich der  $\Delta E$  Werte mit und ohne Anlegen der Zunge für die einzelnen Zähne, Zahn 32

**Deskriptive Statistik<sup>a</sup>**

Delta\_E

	N	Mittelwert	Std.-Abweichung	Std.-Fehler	95% Konfidenzintervall des Mittelwerts		Minimum	Maximum
					Untergrenze	Obergrenze		
niedrig_transluzent	11	1,8675	1,36357	,41113	,9514	2,7835	,25	4,60
mittel_transluzent	32	1,9263	1,57433	,27831	1,3587	2,4939	,48	8,07
hoch_transluzent	9	2,5470	2,25423	,75141	,8142	4,2797	,48	7,24
Gesamt	52	2,0213	1,65159	,22903	1,5615	2,4811	,25	8,07

a. Zahn = 32

Tab. 34: ANOVA, Vergleiche der  $\Delta E$  Werte des Zahnes 32 zwischen und innerhalb der Gruppen

**ANOVA<sup>a</sup>**

Delta_E	Quadratsumme	df	Mittel der Quadrate	F	Sig.
Zwischen den Gruppen	3,036	2	1,518	,547	,582
Innerhalb der Gruppen	136,080	49	2,777		
Gesamt	139,116	51			

a. Zahn = 32

Tab. 35: Post-Hoc Test, Vergleich der einzelnen Gruppen miteinander, Zahn 32

**Mehrere Vergleiche<sup>a</sup>**

Abhängige Variable: Delta\_E  
Bonferroni

(I) visuelltransluzent	(J) visuelltransluzent	Mittelwertdifferenz (I-J)	Std.-Fehler	Sig.	95% Konfidenzintervall Untergrenze	Obergrenze
niedrig_transluzent	mittel_transluzent	-,05878	,58245	1,000	-1,5027	1,3851
	hoch_transluzent	-,67948	,74902	1,000	-2,5363	1,1773
mittel_transluzent	niedrig_transluzent	,05878	,58245	1,000	-1,3851	1,5027
	hoch_transluzent	-,62070	,62877	,985	-2,1794	,9380
hoch_transluzent	niedrig_transluzent	,67948	,74902	1,000	-1,1773	2,5363
	mittel_transluzent	,62070	,62877	,985	-,9380	2,1794

a. Zahn = 32

Tab. 36: Vergleich der  $\Delta E$  Werte mit und ohne Anlegen der Zunge für die einzelnen Zähne, Zahn 33

**Deskriptive Statistik<sup>a</sup>**

Delta_E	N	Mittelwert	Std.-Abweichung	Std.-Fehler	95% Konfidenzintervall des Mittelwerts Untergrenze	Obergrenze	Minimum	Maximum
niedrig_transluzent	13	1,9289	1,39246	,38620	1,0874	2,7703	,46	5,73
mittel_transluzent	39	2,7280	2,45580	,39324	1,9319	3,5240	,28	10,57
Gesamt	52	2,5282	2,25210	,31231	1,9012	3,1552	,28	10,57

a. Zahn = 33

Tab. 37: ANOVA, Vergleiche der  $\Delta E$  Werte des Zahnes 33 zwischen und innerhalb der Gruppen

**ANOVA<sup>a</sup>**

Delta_E	Quadratsumme	df	Mittel der Quadrate	F	Sig.
Zwischen den Gruppen	6,228	1	6,228	1,233	,272
Innerhalb der Gruppen	252,444	50	5,049		
Gesamt	258,670	51			

a. Zahn = 33

Tab. 38: Vergleich der  $\Delta E$  Werte mit und ohne Anlegen der Zunge für die einzelnen Zähne, Zahn 41

**Deskriptive Statistik<sup>a</sup>**

Delta_E	N	Mittelwert	Std.-Abweichung	Std.-Fehler	95% Konfidenzintervall des Mittelwerts		Minimum	Maximum
					Untergrenze	Obergrenze		
niedrig_transluzent	11	1,3325	,91030	,27446	,7209	1,9440	,17	2,91
mittel_transluzent	32	1,8879	1,27873	,22605	1,4089	2,3289	,37	5,44
hoch_transluzent	9	1,6202	1,06652	,35551	,8004	2,4400	,37	3,58
Gesamt	52	1,7118	1,17585	,16306	1,3844	2,0391	,17	5,44

a. Zahn = 41

Tab. 39: ANOVA, Vergleiche der  $\Delta E$  Werte des Zahnes 41 zwischen und innerhalb der Gruppen

**ANOVA<sup>a</sup>**

Delta_E	Quadratsumme	df	Mittel der Quadrate	F	Sig.
Zwischen den Gruppen	2,438	2	1,219	,877	,422
Innerhalb der Gruppen	68,076	49	1,389		
Gesamt	70,514	51			

a. Zahn = 41

Tab. 40: Post-Hoc Test, Vergleich der einzelnen Gruppen miteinander, Zahn 41

**Mehrere Vergleiche<sup>a</sup>**

Abhängige Variable: Delta\_E  
Bonferroni

(I) visuelltransluzent	(J) visuelltransluzent	Mittelwertdifferenz (I-J)	Std.-Fehler	Sig.	95% Konfidenzintervall Untergrenze	Obergrenze
niedrig_transluzent	mittel_transluzent	-,53540	,41197	,599	-1,5588	,4858
	hoch_transluzent	-,28767	,52978	1,000	-1,6010	1,0258
mittel_transluzent	niedrig_transluzent	,53540	,41197	,599	-,4858	1,5588
	hoch_transluzent	,24773	,44473	1,000	-,8547	1,3502
hoch_transluzent	niedrig_transluzent	,28767	,52978	1,000	-1,0258	1,6010
	mittel_transluzent	-,24773	,44473	1,000	-1,3502	,8547

a. Zahn = 41

Tab. 41: Vergleich der  $\Delta E$  Werte mit und ohne Anlegen der Zunge für die einzelnen Zähne, Zahn 42

**Deskriptive Statistik<sup>a</sup>**

Delta\_E

	N	Mittelwert	Std.-Abweichung	Std.-Fehler	95% Konfidenzintervall des Mittelwerts Untergrenze	Obergrenze	Minimum	Maximum
niedrig_transluzent	11	2,1798	1,98941	,59983	,8433	3,5163	,52	6,57
mittel_transluzent	33	1,6805	,89661	,15608	1,3426	1,9784	,21	3,75
hoch_transluzent	8	1,1974	,75669	,26753	,5647	1,8300	,44	2,15
Gesamt	52	1,6991	1,20388	,16895	1,3639	2,0343	,21	6,57

a. Zahn = 42

Tab. 42: ANOVA, Vergleiche der  $\Delta E$  Werte des Zahnes 42 zwischen und innerhalb der Gruppen

**ANOVA<sup>a</sup>**

Delta\_E

	Quadratsumme	df	Mittel der Quadrate	F	Sig.
Zwischen den Gruppen	4,605	2	2,302	1,628	,207
Innerhalb der Gruppen	69,311	49	1,415		
Gesamt	73,916	51			

a. Zahn = 42

Tab. 43: Post-Hoc Test, Vergleich der einzelnen Gruppen miteinander, Zahn 42

**Mehrere Vergleiche<sup>a</sup>**

Abhängige Variable: Delta\_E  
Bonferroni

(I) visuelltransluzent	(J) visuelltransluzent	Mittelwertdifferenz (I-J)	Std.-Fehler	Sig.	95% Konfidenzintervall	
				Untergrenze		Obergrenze
niedrig_transluzent	mittel_transluzent	,51928	,41407	,647	-	1,5457
	hoch_transluzent	,98243	,55263	,245	-,3875	2,3524
mittel_transluzent	niedrig_transluzent	-,51928	,41407	,647	-1,5457	,5072
	hoch_transluzent	,46315	,46870	,984	-,6987	1,6250
hoch_transluzent	niedrig_transluzent	-,98243	,55263	,245	-2,3524	,3875
	mittel_transluzent	-,46315	,46870	,984	-1,6250	,6987

a. Zahn = 42

Tab. 44: Vergleich der  $\Delta E$  Werte mit und ohne Anlegen der Zunge für die einzelnen Zähne, Zahn 43

**Deskriptive Statistik<sup>a</sup>**

Delta\_E

	N	Mittelwert	Std.-Abweichung	Std.-Fehler	95% Konfidenzintervall des Mittelwerts		Minimum	Maximum
				Untergrenze		Obergrenze		
niedrig_transluzent	13	2,3529	2,34240	,64966	,9374	3,7684	,50	9,64
mittel_transluzent	39	1,8280	1,30543	,20904	1,4029	2,2492	,26	5,76
Gesamt	52	1,9577	1,61674	,22420	1,5076	2,4078	,26	9,64

a. Zahn = 43

Tab. 45: ANOVA, Vergleiche der  $\Delta E$  Werte des Zahnes 43 zwischen und innerhalb der Gruppen

**ANOVA<sup>a</sup>**

Delta\_E

	Quadratsumme	df	Mittel der Quadrate	F	Sig.
Zwischen den Gruppen	2,707	1	2,707	1,036	,314
Innerhalb der Gruppen	130,600	50	2,612		
Gesamt	133,308	51			

a. Zahn = 43

Tab. 46: Vergleich der Farbkoordinaten mit und ohne Zunge, visueller Transluzenzgrad = mitteltransluzent

		Deskriptive Statistik <sup>a</sup>							
		N	Mittelwert	Std.-Abweichung	Std.-Fehler	95% Konfidenzintervall des Mittelwerts		Minimum	Maximum
						Untergrenze	Obergrenze		
L	ohne Zunge	1955	78,3913	3,78187	,08553	78,2236	78,5591	67,17	88,99
	mit Zunge	1959	77,6698	3,95839	,08943	77,4944	77,8452	54,90	86,99
	Gesamt	3914	78,0302	3,88742	,08214	77,9084	78,1520	54,90	88,99
C	ohne Zunge	1955	18,2159	4,84513	,10506	18,0099	18,4220	7,92	29,30
	mit Zunge	1959	17,5932	4,67044	,10552	17,3863	17,8002	6,11	30,70
	Gesamt	3914	17,9043	4,66761	,07461	17,7580	18,0505	6,11	30,70
h	ohne Zunge	1955	94,0708	5,76280	,13033	93,8152	94,3264	85,35	118,86
	mit Zunge	1959	93,2051	5,47793	,12377	92,9824	93,4479	81,30	117,59
	Gesamt	3914	93,6375	5,63785	,09012	93,4808	93,8142	81,30	118,86
a	ohne Zunge	1955	-,8646	1,39821	,03162	-,9266	-,8026	-3,83	2,27
	mit Zunge	1959	-,5842	1,34140	,03031	-,6438	-,5247	-3,22	3,08
	Gesamt	3914	-,7242	1,37706	,02201	-,7874	-,6811	-3,83	3,08
b	ohne Zunge	1955	18,1174	4,73856	,10717	17,9072	18,3276	6,94	29,28
	mit Zunge	1959	17,5156	4,73307	,10694	17,3059	17,7253	5,69	30,67
	Gesamt	3914	17,8162	4,74476	,07584	17,6675	17,9649	5,69	30,67

a. visuelltransluzent = mittel\_transluzent

Tab. 47: Vergleich der Farbkoordinaten mit und ohne Zunge, visueller Transluzenzgrad = hochtransluzent

		Deskriptive Statistik <sup>a</sup>							
		N	Mittelwert	Std.-Abweichung	Std.-Fehler	95% Konfidenzintervall des Mittelwerts		Minimum	Maximum
						Untergrenze	Obergrenze		
L	ohne Zunge	470	79,2545	3,43903	,15863	78,9428	79,5662	68,89	86,22
	mit Zunge	465	78,6730	3,66057	,16975	78,3394	79,0066	68,33	86,06
	Gesamt	935	78,9653	3,56093	,11645	78,7367	79,1938	68,33	86,06
C	ohne Zunge	470	14,1006	3,10747	,14334	13,8190	14,3823	5,77	21,73
	mit Zunge	465	13,6685	3,24824	,15063	13,3725	13,9645	5,43	22,68
	Gesamt	935	13,8857	3,18391	,10412	13,6814	14,0901	5,43	22,68
h	ohne Zunge	470	100,1214	7,85308	,36224	99,4096	100,8332	88,56	133,55
	mit Zunge	465	98,4040	6,68681	,31009	97,7947	99,0134	86,71	128,82
	Gesamt	935	99,2673	7,34293	,24014	98,7960	99,7386	86,71	133,55
a	ohne Zunge	470	-2,0746	,96921	,04471	-2,1625	-1,9868	-4,34	,55
	mit Zunge	465	-1,6483	,91194	,04229	-1,7314	-1,5652	-3,67	1,30
	Gesamt	935	-1,8626	,96453	,03154	-1,9245	-1,8007	-4,34	1,30
b	ohne Zunge	470	13,8547	3,36014	,15499	13,5502	14,1593	4,30	21,72
	mit Zunge	465	13,4999	3,40509	,15791	13,1896	13,8102	4,28	22,64
	Gesamt	935	13,6783	3,38541	,11071	13,4610	13,8956	4,28	22,64

a. visuelltransluzent = hoch\_transluzent

Tab. 48: Vergleich der Farbkoordinaten mit und ohne Zunge, Zahn 11

		Deskriptive Statistik <sup>a</sup>							
		N	Mittelwert	Std.-Abweichung	Std.-Fehler	95% Konfidenzintervall des Mittelwerts		Minimum	Maximum
						Untergrenze	Obergrenze		
L	ohne Zunge	280	79,1195	3,68748	,22889	78,6692	79,5698	68,89	87,01
	mit Zunge	280	77,4887	3,51343	,21789	77,0576	77,9158	67,51	84,36
	Gesamt	520	78,3031	3,68967	,16180	77,9852	78,6210	67,51	87,01
C	ohne Zunge	280	15,0257	3,54870	,22008	14,5924	15,4591	6,20	25,17
	mit Zunge	280	14,3533	3,35922	,20833	13,9430	14,7635	5,49	23,86
	Gesamt	520	14,6895	3,46830	,15209	14,3907	14,9883	5,49	25,17
h	ohne Zunge	280	98,9429	7,03434	,43625	98,0839	99,8020	87,22	133,55
	mit Zunge	280	97,5217	6,47293	,40143	96,7312	98,3122	85,94	128,82
	Gesamt	520	98,2323	6,79031	,29777	97,6473	98,8173	85,94	133,55
a	ohne Zunge	280	-1,9469	1,07821	,06687	-2,0786	-1,8152	-4,34	1,19
	mit Zunge	280	-1,5459	1,01549	,06298	-1,6699	-1,4219	-3,62	1,59
	Gesamt	520	-1,7464	1,06539	,04672	-1,8382	-1,6546	-4,34	1,59
b	ohne Zunge	280	14,8129	3,74209	,23207	14,3559	15,2699	4,55	25,17
	mit Zunge	280	14,2011	3,49584	,21680	13,7742	14,6280	4,28	23,81
	Gesamt	520	14,5070	3,63051	,15921	14,1942	14,8198	4,28	25,17

a. Zahn = 11

Tab. 49: Vergleich der Farbkoordinaten mit und ohne Zunge, Zahn 12

		Deskriptive Statistik <sup>a</sup>							
		N	Mittelwert	Std.-Abweichung	Std.-Fehler	95% Konfidenzintervall des Mittelwerts		Minimum	Maximum
						Untergrenze	Obergrenze		
L	ohne Zunge	280	77,5575	3,74565	,23230	77,1000	78,0149	66,25	83,06
	mit Zunge	280	76,3958	4,25495	,26388	75,8762	76,9155	62,51	82,62
	Gesamt	520	76,9767	4,04651	,17745	76,6280	77,3253	62,51	83,06
C	ohne Zunge	280	16,5715	4,42107	,27418	16,0316	17,1114	5,77	25,87
	mit Zunge	280	15,7265	4,34560	,26950	15,1958	16,2572	5,70	27,89
	Gesamt	520	16,1490	4,39964	,19294	15,7700	16,5280	5,70	27,89
h	ohne Zunge	280	96,4614	7,76870	,48179	95,5127	97,4102	84,30	131,78
	mit Zunge	280	94,9468	6,43351	,39899	94,1611	95,7324	81,84	118,13
	Gesamt	520	95,7041	7,16575	,31424	95,0888	96,3214	81,84	131,78
a	ohne Zunge	280	-1,3250	1,39747	,08667	-1,4957	-1,1543	-3,86	2,11
	mit Zunge	280	-.9238	1,32698	,08230	-1,0858	-.7617	-2,86	3,16
	Gesamt	520	-1,1244	1,37810	,08035	-1,2429	-1,0058	-3,86	3,16
b	ohne Zunge	280	16,4120	4,59625	,28505	15,8507	16,9733	4,30	25,87
	mit Zunge	280	15,6177	4,43817	,27524	15,0757	16,1597	5,03	27,84
	Gesamt	520	16,0148	4,53102	,19870	15,6245	16,4052	4,30	27,84

a. Zahn = 12

Tab. 50: Vergleich der Farbkoordinaten mit und ohne Zunge, Zahn 13

		Deskriptive Statistik <sup>a</sup>							
		N	Mittelwert	Std.-Abweichung	Std.-Fehler	95% Konfidenzintervall des Mittelwerts		Minimum	Maximum
						Untergrenze	Obergrenze		
L	ohne Zunge	260	74,8838	3,72215	,23084	74,4292	75,3384	66,43	83,42
	mit Zunge	260	74,2689	3,78345	,23464	73,8068	74,7309	65,83	83,83
	Gesamt	520	74,5783	3,76192	,16497	74,2523	74,9004	65,83	83,83
C	ohne Zunge	260	21,9386	5,04017	,31258	21,3231	22,5541	9,41	29,88
	mit Zunge	260	21,3715	5,18978	,32186	20,7377	22,0052	6,67	30,52
	Gesamt	520	21,6550	5,11846	,22446	21,2141	22,0980	6,67	30,52
h	ohne Zunge	260	90,1218	5,21746	,32357	89,4846	90,7590	85,49	108,39
	mit Zunge	260	89,8138	5,84289	,34996	88,9247	90,3030	82,94	117,59
	Gesamt	520	89,8678	5,43505	,23834	89,3996	90,3361	82,94	117,59
a	ohne Zunge	260	,3432	1,33323	,08268	,1803	,5080	-3,17	2,19
	mit Zunge	260	,5547	1,33517	,08260	,3916	,7177	-3,12	2,89
	Gesamt	520	,4489	1,33711	,05884	,3337	,5641	-3,17	2,89
b	ohne Zunge	260	21,8804	5,10479	,31659	21,2570	22,5038	8,94	29,82
	mit Zunge	260	21,3089	5,24764	,32544	20,6680	21,9497	5,91	30,49
	Gesamt	520	21,5947	5,17962	,22714	21,1484	22,0409	5,91	30,49

a. Zahn = 13

Tab. 51: Vergleich der Farbkoordinaten mit und ohne Zunge, Zahn 21

		Deskriptive Statistik <sup>a</sup>							
		N	Mittelwert	Std.-Abweichung	Std.-Fehler	95% Konfidenzintervall des Mittelwerts		Minimum	Maximum
						Untergrenze	Obergrenze		
L	ohne Zunge	260	78,2828	3,29022	,20405	77,8810	78,6846	68,09	83,90
	mit Zunge	260	77,6977	3,39024	,21025	77,2836	78,1117	67,74	84,76
	Gesamt	520	77,9902	3,35021	,14692	77,7016	78,2788	67,74	84,76
C	ohne Zunge	260	14,8990	3,22280	,19987	14,5054	15,2926	6,94	22,57
	mit Zunge	260	14,4607	2,93282	,18189	14,1025	14,8189	7,25	21,01
	Gesamt	520	14,6798	3,08606	,13533	14,4140	14,9457	6,94	22,57
h	ohne Zunge	260	98,9121	6,77437	,42013	98,0848	99,7394	86,84	128,48
	mit Zunge	260	97,0767	5,36121	,33249	96,4219	97,7314	87,60	114,62
	Gesamt	520	97,9944	6,17165	,27064	97,4627	98,5261	86,84	128,48
a	ohne Zunge	260	-1,9474	1,07556	,06670	-2,0788	-1,8161	-4,32	1,24
	mit Zunge	260	-1,5289	,92616	,05744	-1,6420	-1,4158	-3,22	,88
	Gesamt	520	-1,7382	1,02432	,04492	-1,8264	-1,6499	-4,32	1,24
b	ohne Zunge	260	14,6872	3,42278	,21227	14,2692	15,1052	5,44	22,54
	mit Zunge	260	14,3248	3,05364	,18938	13,9519	14,6978	6,59	20,99
	Gesamt	520	14,5060	3,24541	,14232	14,2264	14,7856	5,44	22,54

a. Zahn = 21

Tab. 52: ANOVA, Vergleich der Farbkoordinaten mit und ohne Zunge, Zahn 21

		ANOVA <sup>a</sup>				
		Quadratsumme	df	Mittel der Quadrate	F	Sig.
L	Zwischen den Gruppen	44,507	1	44,507	3,988	,046
	Innerhalb der Gruppen	5780,694	518	11,160		
	Gesamt	5825,201	519			
C	Zwischen den Gruppen	24,975	1	24,975	2,631	,105
	Innerhalb der Gruppen	4917,851	518	9,494		
	Gesamt	4942,826	519			
h	Zwischen den Gruppen	437,959	1	437,959	11,736	,001
	Innerhalb der Gruppen	19330,366	518	37,317		
	Gesamt	19768,325	519			
a	Zwischen den Gruppen	22,773	1	22,773	22,608	,000
	Innerhalb der Gruppen	521,779	518	1,007		
	Gesamt	544,551	519			
b	Zwischen den Gruppen	17,065	1	17,065	1,622	,203
	Innerhalb der Gruppen	5449,386	518	10,520		
	Gesamt	5466,451	519			

a. Zahn = 21

Tab. 53: Vergleich der Farbkoordinaten mit und ohne Zunge, Zahn 22

		Deskriptive Statistik <sup>a</sup>							
		N	Mittelwert	Std.-Abweichung	Std.-Fehler	95% Konfidenzintervall des Mittelwerts		Minimum	Maximum
						Untergrenze	Obergrenze		
L	ohne Zunge	260	78,1513	3,06812	,19028	77,7766	78,5260	68,68	83,21
	mit Zunge	260	77,4272	3,45930	,21454	77,0047	77,8496	67,30	86,11
	Gesamt	520	77,7892	3,28846	,14412	77,5061	78,0723	67,30	86,11
C	ohne Zunge	260	16,3935	3,88466	,24092	15,9191	16,8679	7,63	27,54
	mit Zunge	260	15,8159	4,07389	,25265	15,3184	16,3134	5,43	25,46
	Gesamt	520	16,1047	3,98705	,17484	15,7612	16,4482	5,43	27,54
h	ohne Zunge	260	96,3245	6,10086	,37836	95,5794	97,0695	86,63	118,74
	mit Zunge	260	94,9380	5,95890	,36956	94,2103	95,6657	85,32	116,65
	Gesamt	520	95,6312	6,06431	,26594	95,1088	96,1537	85,32	118,74
a	ohne Zunge	260	-1,4241	1,18494	,07349	-1,5688	-1,2794	-3,67	1,27
	mit Zunge	260	-,9718	1,18718	,07363	-1,1168	-,8268	-3,00	1,83
	Gesamt	520	-1,1979	1,20634	,05290	-1,3019	-1,0940	-3,67	1,83
b	ohne Zunge	260	16,2548	4,02380	,24965	15,7634	16,7462	6,69	27,54
	mit Zunge	260	15,7169	4,16924	,25857	15,2077	16,2260	5,09	25,45
	Gesamt	520	15,9858	4,10206	,17989	15,6324	16,3392	5,09	27,54

a. Zahn = 22

Tab. 54: ANOVA, Vergleich der Farbkoordinaten mit und ohne Zunge, Zahn 22

		ANOVA <sup>a</sup>				
		Quadratsumme	df	Mittel der Quadrate	F	Sig.
L	Zwischen den Gruppen	68,165	1	68,165	6,376	,012
	Innerhalb der Gruppen	5537,458	518	10,690		
	Gesamt	5605,623	519			
C	Zwischen den Gruppen	43,367	1	43,367	2,737	,099
	Innerhalb der Gruppen	8206,967	518	15,844		
	Gesamt	8250,334	519			
h	Zwischen den Gruppen	249,896	1	249,896	6,872	,009
	Innerhalb der Gruppen	18836,803	518	36,364		
	Gesamt	19086,699	519			
a	Zwischen den Gruppen	26,591	1	26,591	18,903	,000
	Innerhalb der Gruppen	728,691	518	1,407		
	Gesamt	755,282	519			
b	Zwischen den Gruppen	37,612	1	37,612	2,241	,135
	Innerhalb der Gruppen	8695,541	518	16,787		
	Gesamt	8733,153	519			

a. Zahn = 22

Tab. 55: Vergleich der Farbkoordinaten mit und ohne Zunge, Zahn 23

		Deskriptive Statistik <sup>a</sup>							
		N	Mittelwert	Std.-Abweichung	Std.-Fehler	95% Konfidenzintervall des Mittelwerts		Minimum	Maximum
						Untergrenze	Obergrenze		
L	ohne Zunge	280	74,7423	3,70136	,22955	74,2903	75,1943	67,17	83,31
	mit Zunge	280	74,2480	4,58067	,28284	73,6911	74,8050	54,90	84,03
	Gesamt	520	74,4952	4,15666	,18228	74,1371	74,8533	54,90	84,03
C	ohne Zunge	280	21,9288	5,11664	,31732	21,3040	22,5537	7,92	32,32
	mit Zunge	280	21,4369	5,03290	,31213	20,8223	22,0515	8,28	33,13
	Gesamt	520	21,6829	5,07802	,22260	21,2456	22,1202	7,92	33,13
h	ohne Zunge	280	90,0237	5,84680	,36260	89,3097	90,7378	85,11	118,86
	mit Zunge	280	89,2413	5,19620	,32225	88,6067	89,8758	81,30	109,99
	Gesamt	520	89,6325	5,53960	,24293	89,1553	90,1097	81,30	118,86
a	ohne Zunge	280	,4071	1,34198	,08323	,2432	,5710	-3,83	2,27
	mit Zunge	280	,6343	1,34465	,08339	,4701	,7985	-2,97	3,08
	Gesamt	520	,5207	1,34683	,05906	,4047	,6367	-3,83	3,08
b	ohne Zunge	280	21,8650	5,19898	,32243	21,2300	22,4999	6,94	32,31
	mit Zunge	280	21,3746	5,07974	,31503	20,7542	21,9949	7,78	33,11
	Gesamt	520	21,6198	5,14062	,22543	21,1769	22,0626	6,94	33,11

a. Zahn = 23

Tab. 56: ANOVA, Vergleich der Farbkoordinaten mit und ohne Zunge, Zahn 23

		ANOVA <sup>a</sup>				
		Quadratsumme	df	Mittel der Quadrate	F	Sig.
L	Zwischen den Gruppen	31,759	1	31,759	1,841	,175
	Innerhalb der Gruppen	8935,437	518	17,250		
	Gesamt	8967,196	519			
C	Zwischen den Gruppen	31,463	1	31,463	1,222	,270
	Innerhalb der Gruppen	13341,104	518	25,755		
	Gesamt	13372,568	519			
h	Zwischen den Gruppen	79,592	1	79,592	2,602	,107
	Innerhalb der Gruppen	15847,069	518	30,593		
	Gesamt	15926,661	519			
a	Zwischen den Gruppen	6,708	1	6,708	3,717	,054
	Innerhalb der Gruppen	934,728	518	1,804		
	Gesamt	941,436	519			
b	Zwischen den Gruppen	31,262	1	31,262	1,183	,277
	Innerhalb der Gruppen	13683,797	518	26,417		
	Gesamt	13715,059	519			

a. Zahn = 23

Tab. 57: Vergleich der Farbkoordinaten mit und ohne Zunge, Zahn 31

		Deskriptive Statistik <sup>a</sup>							
		N	Mittelwert	Std.-Abweichung	Std.-Fehler	95% Konfidenzintervall des Mittelwerts		Minimum	Maximum
						Untergrenze	Obergrenze		
L	ohne Zunge	260	80,3259	3,06213	,18991	79,9519	80,6998	70,50	85,97
	mit Zunge	260	79,8519	3,10584	,19260	79,4727	80,2312	67,63	88,06
	Gesamt	520	80,0889	3,09011	,13551	79,8227	80,3551	67,63	88,06
C	ohne Zunge	260	15,9143	3,35685	,20817	15,5044	16,3243	8,86	29,02
	mit Zunge	260	15,3852	3,37416	,20926	14,9732	15,7973	7,78	29,33
	Gesamt	520	15,6498	3,37258	,14790	15,3592	15,9403	7,78	29,33
h	ohne Zunge	260	96,0718	4,88017	,30142	95,4782	96,6653	87,51	113,59
	mit Zunge	260	95,2728	4,55456	,28248	94,7166	95,8290	86,89	108,79
	Gesamt	520	95,6723	4,72227	,20709	95,2654	96,0791	86,89	113,59
a	ohne Zunge	260	-1,4392	,99381	,06163	-1,5806	-1,3178	-3,55	1,12
	mit Zunge	260	-1,1831	,95723	,05936	-1,3000	-1,0662	-2,83	1,54
	Gesamt	520	-1,3112	,98314	,04311	-1,3959	-1,2285	-3,55	1,54
b	ohne Zunge	260	15,7977	3,45264	,21412	15,3781	16,2194	8,12	29,00
	mit Zunge	260	15,2945	3,44336	,21355	14,8740	15,7150	7,38	29,30
	Gesamt	520	15,5461	3,45387	,15146	15,2486	15,8437	7,38	29,30

a. Zahn = 31

Tab. 58: ANOVA, Vergleich der Farbkoordinaten mit und ohne Zunge, Zahn 31

		ANOVA <sup>a</sup>				
		Quadratsumme	df	Mittel der Quadrate	F	Sig.
L	Zwischen den Gruppen	29,203	1	29,203	3,071	,080
	Innerhalb der Gruppen	4926,612	518	9,511		
	Gesamt	4955,815	519			
C	Zwischen den Gruppen	36,395	1	36,395	3,213	,074
	Innerhalb der Gruppen	5866,873	518	11,326		
	Gesamt	5903,269	519			
h	Zwischen den Gruppen	82,992	1	82,992	3,741	,054
	Innerhalb der Gruppen	11490,616	518	22,183		
	Gesamt	11573,608	519			
a	Zwischen den Gruppen	8,525	1	8,525	8,955	,003
	Innerhalb der Gruppen	493,119	518	,952		
	Gesamt	501,644	519			
b	Zwischen den Gruppen	32,916	1	32,916	2,769	,097
	Innerhalb der Gruppen	6158,357	518	11,889		
	Gesamt	6191,274	519			

a. Zahn = 31

Tab. 59: Vergleich der Farbkoordinaten mit und ohne Zunge, Zahn 32

		Deskriptive Statistik <sup>a</sup>							
		N	Mittelwert	Std.-Abweichung	Std.-Fehler	95% Konfidenzintervall des Mittelwerts		Minimum	Maximum
						Untergrenze	Obergrenze		
L	ohne Zunge	260	79,9762	3,62167	,22461	79,5339	80,4185	68,58	87,82
	mit Zunge	260	79,7787	3,65467	,22665	79,3324	80,2250	66,06	86,63
	Gesamt	520	79,8774	3,63604	,15945	79,5642	80,1907	66,06	87,82
C	ohne Zunge	260	17,3106	3,62898	,22506	16,8674	17,7538	7,77	31,21
	mit Zunge	260	16,9000	3,80192	,23578	16,4357	17,3643	8,14	29,72
	Gesamt	520	17,1053	3,71856	,16307	16,7849	17,4256	7,77	31,21
h	ohne Zunge	260	94,5833	4,62007	,28652	94,0191	95,1475	86,49	117,11
	mit Zunge	260	93,8601	4,06693	,25222	93,3635	94,3568	85,58	109,29
	Gesamt	520	94,2217	4,36314	,19134	93,8458	94,5976	85,58	117,11
a	ohne Zunge	260	-1,1348	1,01817	,06314	-1,2592	-1,0105	-3,56	1,54
	mit Zunge	260	-,9055	,94853	,05883	-1,0214	-,7897	-2,79	1,77
	Gesamt	520	-1,0202	,98969	,04340	-1,1055	-,9349	-3,56	1,77
b	ohne Zunge	260	17,2268	3,70775	,22994	16,7740	17,6796	6,92	31,17
	mit Zunge	260	16,8377	3,85230	,23891	16,3673	17,3082	7,68	29,67
	Gesamt	520	17,0323	3,78209	,16566	16,7065	17,3581	6,92	31,17

a. Zahn = 32

Tab. 60: ANOVA, Vergleich der Farbkoordinaten mit und ohne Zunge, Zahn 32

		ANOVA <sup>a</sup>				
		Quadratsumme	df	Mittel der Quadrate	F	Sig.
L	Zwischen den Gruppen	5,071	1	5,071	,383	,538
	Innerhalb der Gruppen	6856,528	518	13,237		
	Gesamt	6861,599	519			
C	Zwischen den Gruppen	21,923	1	21,923	1,587	,208
	Innerhalb der Gruppen	7154,642	518	13,812		
	Gesamt	7176,565	519			
h	Zwischen den Gruppen	67,991	1	67,991	3,589	,059
	Innerhalb der Gruppen	9812,197	518	18,942		
	Gesamt	9880,188	519			
a	Zwischen den Gruppen	6,836	1	6,836	7,060	,008
	Innerhalb der Gruppen	501,520	518	,968		
	Gesamt	508,355	519			
b	Zwischen den Gruppen	19,683	1	19,683	1,377	,241
	Innerhalb der Gruppen	7404,192	518	14,294		
	Gesamt	7423,876	519			

a. Zahn = 32

Tab. 61: Vergleich der Farbkoordinaten mit und ohne Zunge, Zahn 33

		Deskriptive Statistik <sup>a</sup>							
		N	Mittelwert	Std.-Abweichung	Std.-Fehler	95% Konfidenzintervall des Mittelwerts		Minimum	Maximum
						Untergrenze	Obergrenze		
L	ohne Zunge	260	76,5357	3,87401	,24026	76,0626	77,0088	58,63	86,24
	mit Zunge	260	75,9138	3,84502	,23846	75,4442	76,3833	61,23	84,67
	Gesamt	520	76,2247	3,86837	,16964	75,8915	76,5580	58,63	86,24
C	ohne Zunge	260	21,9689	4,38171	,27174	21,4318	22,5020	11,33	32,59
	mit Zunge	260	21,3009	4,41462	,27378	20,7618	21,8400	8,73	33,10
	Gesamt	520	21,6339	4,40658	,19324	21,2543	22,0135	8,73	33,10
h	ohne Zunge	260	89,8428	3,59894	,22320	89,4033	90,2823	85,55	105,74
	mit Zunge	260	89,2308	3,56422	,22104	88,7955	89,6660	83,54	102,16
	Gesamt	520	89,5368	3,59126	,15749	89,2274	89,8462	83,54	105,74
a	ohne Zunge	260	,2710	1,03378	,06411	,1448	,3973	-3,07	1,93
	mit Zunge	260	,4891	1,06562	,06609	,3589	,8192	-2,42	2,13
	Gesamt	520	,3801	1,05447	,04624	,2892	,4709	-3,07	2,13
b	ohne Zunge	260	21,9350	4,41097	,27356	21,3964	22,4737	10,91	32,57
	mit Zunge	260	21,2657	4,42978	,27472	20,7248	21,8067	8,69	33,08
	Gesamt	520	21,6004	4,42881	,19422	21,2188	21,9819	8,69	33,08

a. Zahn = 33

Tab. 62: ANOVA Vergleich der Farbkoordinaten mit und ohne Zunge, Zahn 33

		ANOVA <sup>a</sup>				
		Quadratsumme	df	Mittel der Quadrate	F	Sig.
L	Zwischen den Gruppen	50,289	1	50,289	3,376	,067
	Innerhalb der Gruppen	7716,170	518	14,896		
	Gesamt	7766,459	519			
C	Zwischen den Gruppen	57,656	1	57,656	2,981	,085
	Innerhalb der Gruppen	10020,253	518	19,344		
	Gesamt	10077,909	519			
h	Zwischen den Gruppen	48,691	1	48,691	3,796	,052
	Innerhalb der Gruppen	6644,913	518	12,828		
	Gesamt	6693,604	519			
a	Zwischen den Gruppen	6,180	1	6,180	5,608	,018
	Innerhalb der Gruppen	570,897	518	1,102		
	Gesamt	577,077	519			
b	Zwischen den Gruppen	58,236	1	58,236	2,980	,085
	Innerhalb der Gruppen	10121,626	518	19,540		
	Gesamt	10179,863	519			

a. Zahn = 33

Tab. 63: Vergleich der Farbkoordinaten mit und ohne Zunge, Zahn 41

		Deskriptive Statistik <sup>a</sup>							
		N	Mittelwert	Std.-Abweichung	Std.-Fehler	95% Konfidenzintervall des Mittelwerts		Minimum	Maximum
						Untergrenze	Obergrenze		
L	ohne Zunge	260	81,5826	2,93496	,18202	81,2242	81,9410	74,63	90,36
	mit Zunge	260	81,3225	2,76921	,17174	80,9844	81,6607	72,50	88,02
	Gesamt	520	81,4526	2,85351	,12513	81,2067	81,6984	72,50	90,36
C	ohne Zunge	260	16,1983	3,39263	,21040	15,7840	16,6127	8,92	32,60
	mit Zunge	260	15,6883	3,64494	,22605	15,2432	16,1334	7,18	34,01
	Gesamt	520	15,9433	3,52690	,15467	15,6395	16,2472	7,18	34,01
h	ohne Zunge	260	95,9350	4,58020	,28405	95,3756	96,4943	87,75	114,37
	mit Zunge	260	95,2851	4,44973	,27596	94,7417	95,8285	87,01	112,77
	Gesamt	520	95,6100	4,52280	,19834	95,2204	95,9997	87,01	114,37
a	ohne Zunge	260	-1,4549	,97218	,06029	-1,5736	-1,3362	-3,71	1,16
	mit Zunge	260	-1,2142	,92579	,05742	-1,3273	-1,1012	-3,11	1,59
	Gesamt	520	-1,3346	,95597	,04192	-1,4169	-1,2522	-3,71	1,59
b	ohne Zunge	260	16,0861	3,47637	,21560	15,6615	16,5106	8,14	32,58
	mit Zunge	260	15,5990	3,70888	,23002	15,1460	16,0519	6,62	33,97
	Gesamt	520	15,8425	3,59931	,15784	15,5324	16,1526	6,62	33,97

a. Zahn = 41

Tab. 64: ANOVA, Vergleich der Farbkoordinaten mit und ohne Zunge, Zahn 41

		ANOVA <sup>a</sup>				
		Quadratsumme	df	Mittel der Quadrate	F	Sig.
L	Zwischen den Gruppen	8,791	1	8,791	1,080	,299
	Innerhalb der Gruppen	4217,163	518	8,141		
	Gesamt	4225,953	519			
C	Zwischen den Gruppen	33,818	1	33,818	2,728	,099
	Innerhalb der Gruppen	6422,053	518	12,398		
	Gesamt	6455,872	519			
h	Zwischen den Gruppen	54,899	1	54,899	2,693	,101
	Innerhalb der Gruppen	10561,603	518	20,389		
	Gesamt	10616,502	519			
a	Zwischen den Gruppen	7,531	1	7,531	8,358	,004
	Innerhalb der Gruppen	466,774	518	,901		
	Gesamt	474,306	519			
b	Zwischen den Gruppen	30,847	1	30,847	2,387	,123
	Innerhalb der Gruppen	6692,811	518	12,920		
	Gesamt	6723,657	519			

a. Zahn = 41

Tab. 65: Vergleich der Farbkoordinaten mit und ohne Zunge, Zahn 42

		Deskriptive Statistik <sup>a</sup>							
		N	Mittelwert	Std.-Abweichung	Std.-Fehler	95% Konfidenzintervall des Mittelwerts		Minimum	Maximum
						Untergrenze	Obergrenze		
L	ohne Zunge	260	80,4908	2,91758	,18094	80,1345	80,8471	71,42	86,14
	mit Zunge	260	79,9325	3,04888	,18908	79,5601	80,3048	68,23	84,95
	Gesamt	520	80,2117	2,99415	,13130	79,9537	80,4696	68,23	86,14
C	ohne Zunge	260	17,4073	3,14732	,19519	17,0229	17,7916	9,10	26,22
	mit Zunge	260	16,8437	3,04548	,18887	16,4718	17,2156	6,40	26,17
	Gesamt	520	17,1255	3,10666	,13624	16,8578	17,3931	6,40	26,22
h	ohne Zunge	260	94,6428	4,05171	,25128	94,1478	95,1374	86,85	111,55
	mit Zunge	260	93,9108	4,49258	,27862	93,3619	94,4592	83,20	118,97
	Gesamt	520	94,2766	4,28938	,18810	93,9071	94,6461	83,20	118,97
a	ohne Zunge	260	-1,2108	,89932	,05577	-1,3206	-1,1010	-3,34	1,00
	mit Zunge	260	-,9359	,97243	,06031	-1,0546	-,8171	-3,67	2,62
	Gesamt	520	-1,0733	,94575	,04147	-1,1548	-,9919	-3,67	2,62
b	ohne Zunge	260	17,3281	3,22439	,19997	16,9343	17,7218	8,47	26,20
	mit Zunge	260	16,7770	3,11538	,19321	16,3966	17,1575	5,82	26,14
	Gesamt	520	17,0526	3,17928	,13942	16,7787	17,3265	5,82	26,20

a. Zahn = 42

Tab. 66: ANOVA, Vergleich der Farbkoordinaten mit und ohne Zunge, Zahn 42

		ANOVA <sup>a</sup>				
		Quadratsumme	df	Mittel der Quadrate	F	Sig.
L	Zwischen den Gruppen	40,533	1	40,533	4,552	,033
	Innerhalb der Gruppen	4612,257	518	8,904		
	Gesamt	4652,790	519			
C	Zwischen den Gruppen	41,290	1	41,290	4,305	,038
	Innerhalb der Gruppen	4967,755	518	9,590		
	Gesamt	5009,046	519			
h	Zwischen den Gruppen	69,664	1	69,664	3,807	,052
	Innerhalb der Gruppen	9479,301	518	18,300		
	Gesamt	9548,966	519			
a	Zwischen den Gruppen	9,826	1	9,826	11,201	,001
	Innerhalb der Gruppen	454,389	518	,877		
	Gesamt	464,215	519			
b	Zwischen den Gruppen	39,474	1	39,474	3,927	,048
	Innerhalb der Gruppen	5206,489	518	10,051		
	Gesamt	5245,963	519			

a. Zahn = 42

Tab. 67: Vergleich der Farbkoordinaten mit und ohne Zunge, Zahn 43

		Deskriptive Statistik <sup>a</sup>							
		N	Mittelwert	Std.-Abweichung	Std.-Fehler	95% Konfidenzintervall des Mittelwerts		Minimum	Maximum
						Untergrenze	Obergrenze		
L	ohne Zunge	260	77,3744	3,39186	,21035	76,9602	77,7886	66,67	86,12
	mit Zunge	260	77,1695	3,34333	,20734	76,7612	77,5778	66,15	84,85
	Gesamt	520	77,2719	3,36800	,14761	76,9819	77,5619	66,15	86,12
C	ohne Zunge	260	22,0446	4,55528	,28251	21,4883	22,6009	10,20	32,52
	mit Zunge	260	21,6950	4,80739	,29814	21,1079	22,2821	6,11	32,07
	Gesamt	520	21,8698	4,68179	,20531	21,4664	22,2731	6,11	32,52
h	ohne Zunge	260	90,2905	4,03898	,25049	89,7972	90,7837	84,40	108,38
	mit Zunge	260	89,8827	4,33583	,26890	89,3532	90,4122	84,28	113,66
	Gesamt	520	90,0866	4,19097	,18379	89,7255	90,4476	84,28	113,66
a	ohne Zunge	260	,1509	1,10402	,06847	,0161	,2857	-3,29	1,91
	mit Zunge	260	,3373	1,14164	,07080	,1979	,4768	-3,01	2,18
	Gesamt	520	,2441	1,12578	,04937	,1471	,3411	-3,29	2,18
b	ohne Zunge	260	22,0074	4,59840	,28518	21,4458	22,5690	9,70	32,51
	mit Zunge	260	21,6546	4,84308	,30036	21,0631	22,2460	5,69	32,05
	Gesamt	520	21,8310	4,72108	,20703	21,4243	22,2377	5,69	32,51

a. Zahn = 43

Tab. 68: ANOVA, Vergleich der Farbkoordinaten mit und ohne Zunge, Zahn 43

		ANOVA <sup>a</sup>				
		Quadratsumme	df	Mittel der Quadrate	F	Sig.
L	Zwischen den Gruppen	5,459	1	5,459	,481	,488
	Innerhalb der Gruppen	5874,783	518	11,341		
	Gesamt	5880,242	519			
C	Zwischen den Gruppen	15,894	1	15,894	,725	,395
	Innerhalb der Gruppen	11360,158	518	21,931		
	Gesamt	11376,052	519			
h	Zwischen den Gruppen	21,616	1	21,616	1,231	,268
	Innerhalb der Gruppen	9094,220	518	17,556		
	Gesamt	9115,836	519			
a	Zwischen den Gruppen	4,518	1	4,518	3,583	,059
	Innerhalb der Gruppen	653,248	518	1,261		
	Gesamt	657,766	519			
b	Zwischen den Gruppen	16,182	1	16,182	,726	,395
	Innerhalb der Gruppen	11551,585	518	22,300		
	Gesamt	11567,766	519			

a. Zahn = 43

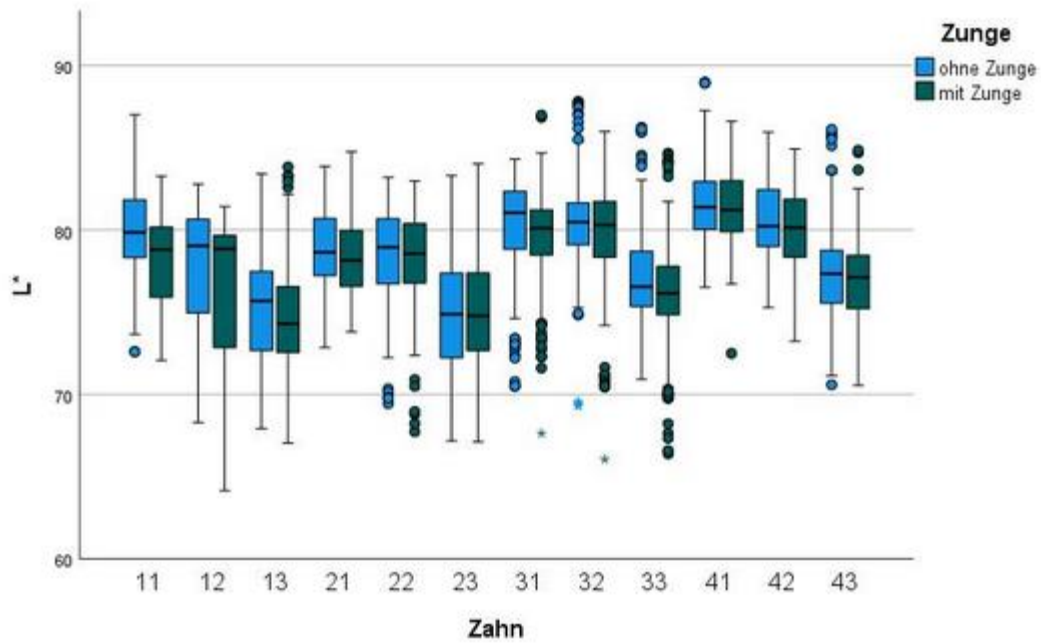


Abb. 39: Graphische Darstellung der L\*-Farbkoordinate der Zähne 11-43, visueller Transluzenzgrad = mitteltransluzent

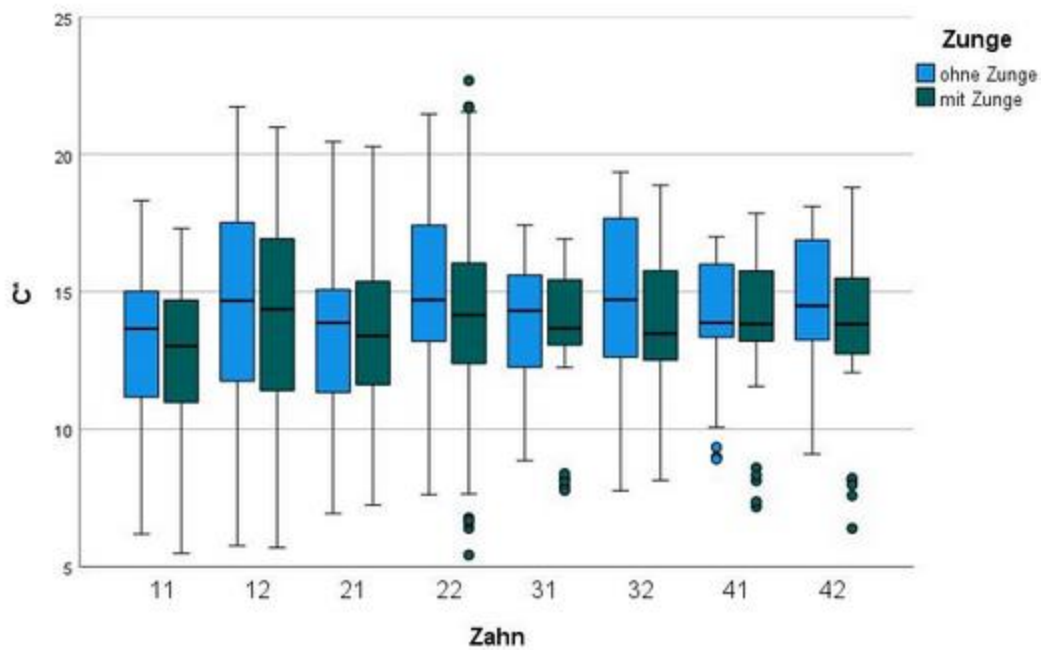


Abb. 40: Graphische Darstellung der C\*-Farbkoordinate der Zähne 11-42, visueller Transluzenzgrad = hochtransluzent

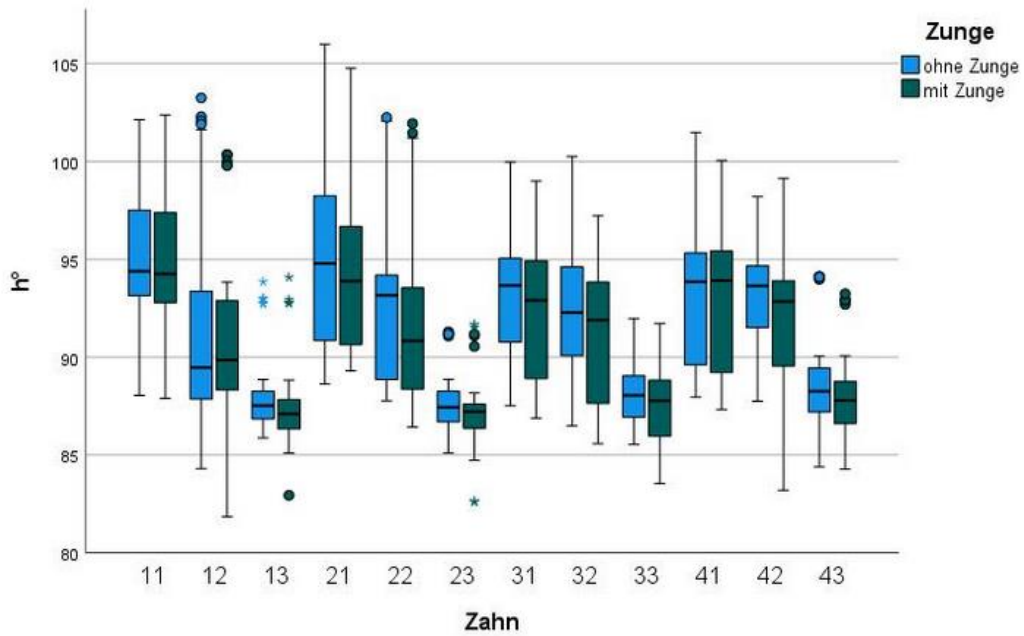


Abb. 41: Graphische Darstellung der h°-Farbkoordinate der Zähne 11-43, visueller Transluzenzgrad = niedrigtransluzent

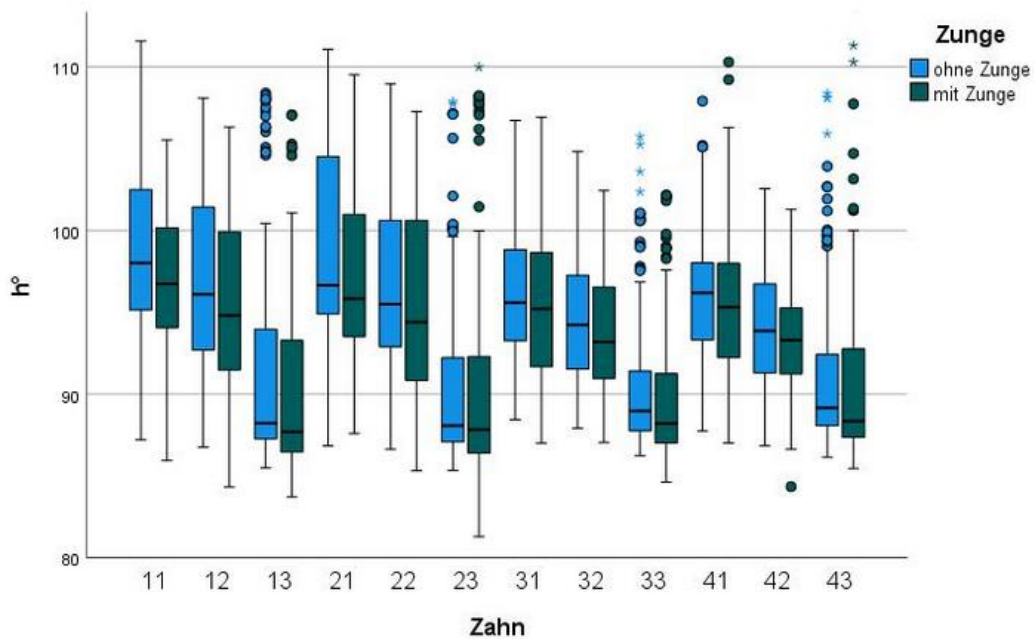


Abb. 42: Graphische Darstellung der h°-Farbkoordinate der Zähne 11-43, visueller Transluzenzgrad = mitteltransluzent

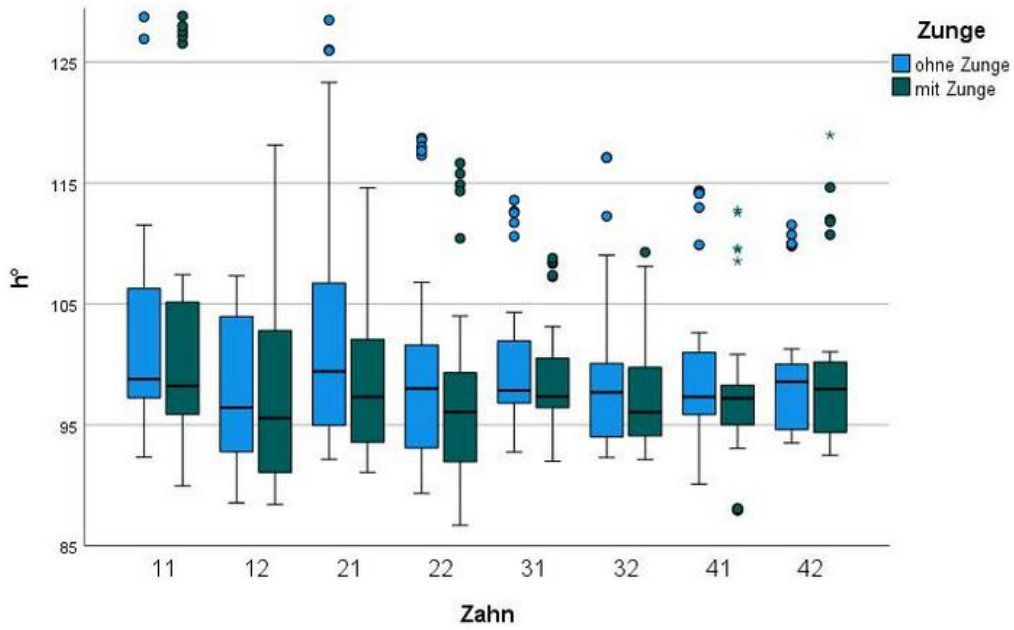


Abb. 43: Graphische Darstellung der  $h^\circ$ -Farbkoordinate der Zähne 11-42, visueller Transluzenzgrad = hochtransluzent

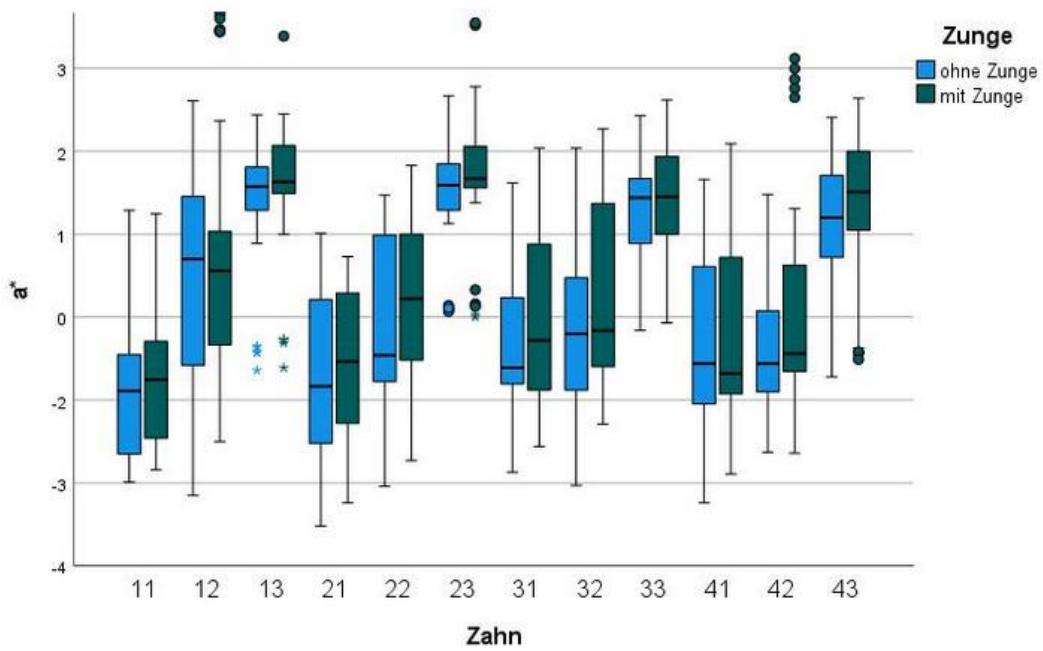


Abb. 44: Graphische Darstellung der  $a^*$ -Farbkoordinate der Zähne 11-43, visueller Transluzenzgrad = niedrigtransluzent

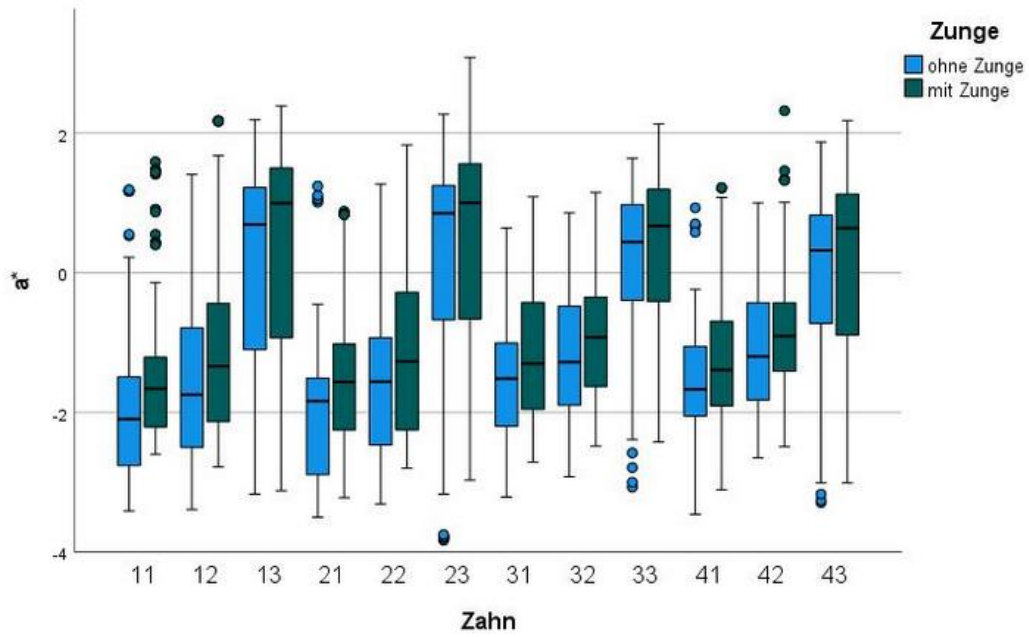


Abb. 45: Graphische Darstellung der a\*-Farbkoordinate der Zähne 11-43, visueller Transluzenzgrad = mitteltransluzent

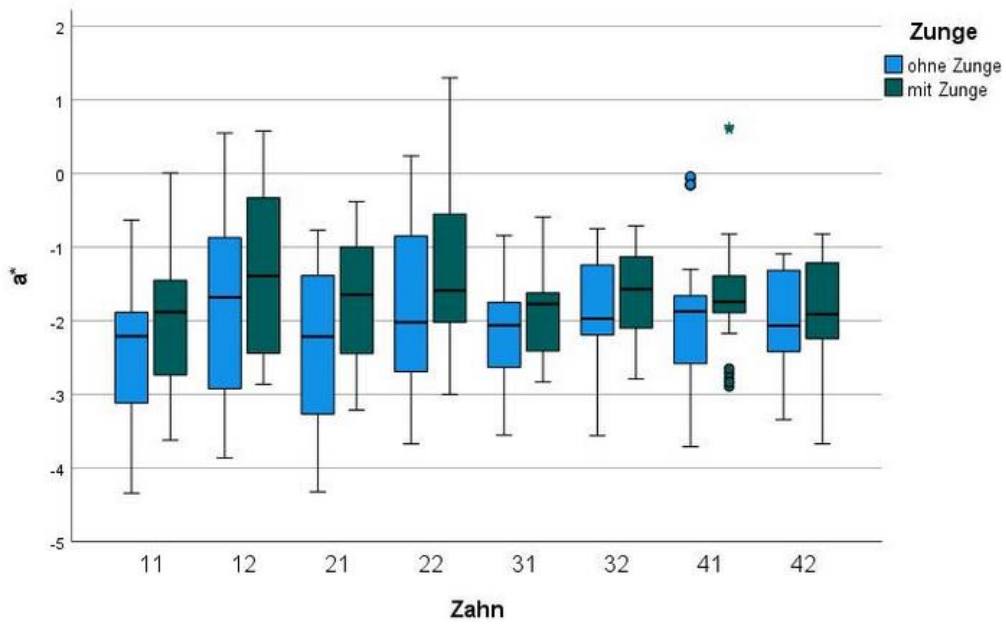


Abb. 46: Graphische Darstellung der a\*-Farbkoordinate der Zähne 11-42, visueller Transluzenzgrad = hochtransluzent

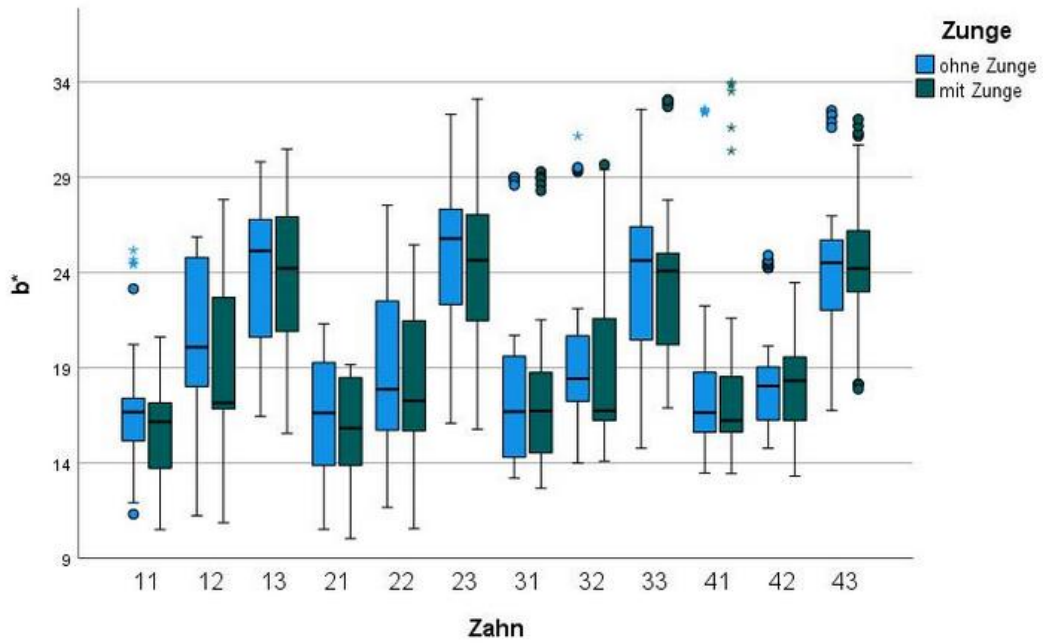


Abb. 47: Graphische Darstellung der b\*-Farbkoordinate der Zähne 11-43, visueller Transluzenzgrad = niedrigtransluzent

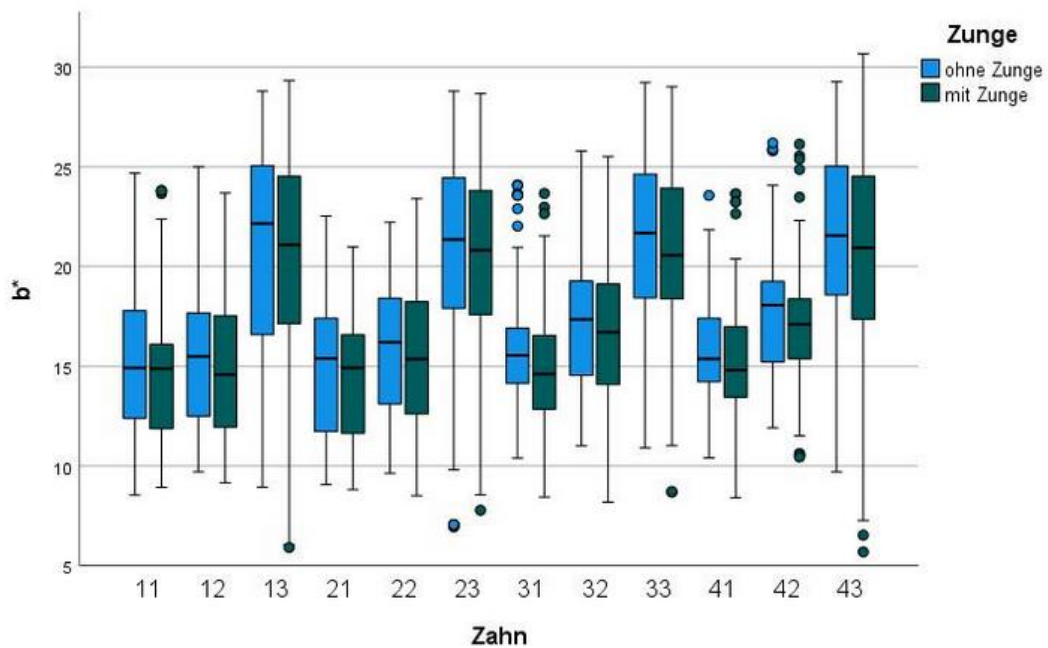


Abb. 48: Graphische Darstellung der b\*-Farbkoordinate der Zähne 11-43, visueller Transluzenzgrad = mitteltransluzent

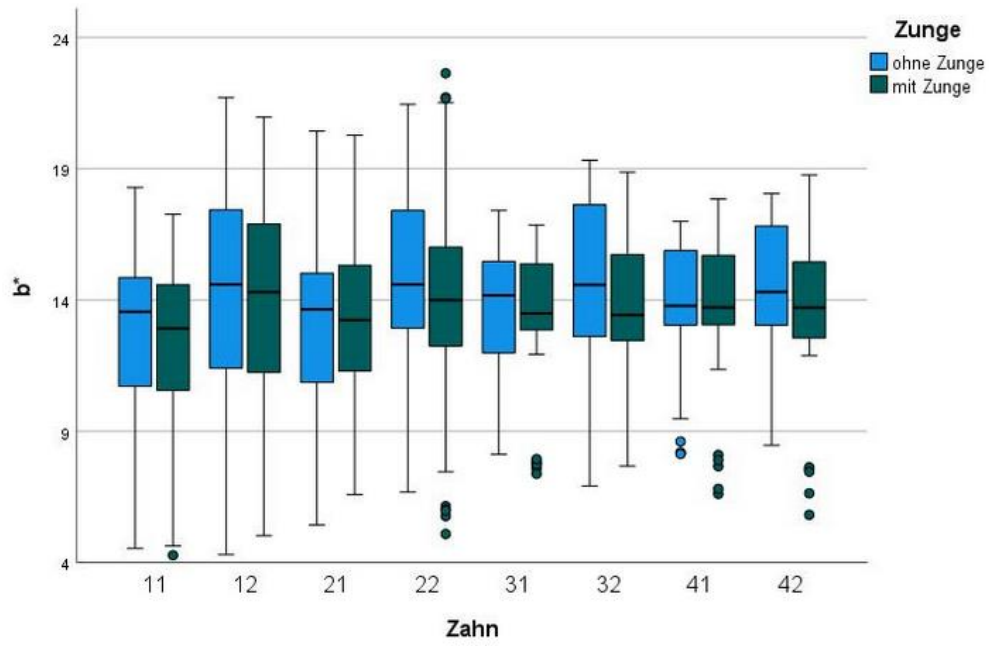


Abb. 49: Graphische Darstellung der b\*-Farbkoordinate der Zähne 11-42, visueller Transluzenzgrad = hochtransluzent

## **Danksagung**

Ich bedanke mich herzlich bei XXX für die Findung des Themas, sowie die ausgezeichnete Betreuung und Unterstützung dieser Studie.

XXX danke ich zudem besonders für die Erstellung des Erstgutachtens dieser Dissertation.

Ebenso danke ich XXX für die Verfassung des Zweitgutachtens.

Mein herzlicher Dank gilt den Teilnehmer/innen der Poliklinik für zahnärztliche Prothetik und Werkstoffkunde, die sich für diese Studie zur Verfügung gestellt haben.

Ich danke XXX, aus dem Institut für medizinische Biometrie, Epidemiologie und Informatik für die tatkräftige Unterstützung in der statistischen Beratung.

Ein weiterer Dank geht XXX aus der Firma VITA Zahnfabrik, Bad Säckingen für die Bereitstellung des digitalen Messgerätes VITA Easyshade V im Zeitraum der Datenerfassung.

Außerdem danke ich meinen Eltern für die tatkräftige Unterstützung während meines Studiums und dem Abschluss dieser Arbeit.

Ein besonders großer Dank gilt meinem Partner für den starken emotionalen Rückhalt und die Unterstützung während der Studienzeit.

**Lebenslauf**