

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

In vitro Modell zur Evaluation von Einflussfaktoren auf die Farbrealisation
vollkeramischer Restaurationsmaterialien

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

Vorgelegt von

Anna Pahl
aus Barnaul

Mainz, 2020

Wissenschaftlicher Vorstand:

1. Gutachter:

2. Gutachter:

Tag der Promotion:

07. Dezember 2021

Meinen Eltern in großer Dankbarkeit gewidmet

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis.....	6
Abbildungs- und Tabellenverzeichnis.....	7
1 Einleitung.....	8
2 Literaturdiskussion	9
2.1 Die Ästhetik	9
2.2 Farbraum	9
2.3 Zahnfarbraum.....	11
2.4 Entstehung der Zahnfarbe.....	13
2.5 Einflussfaktoren auf die Zahnfarbbestimmung.....	15
2.6 Visuelle Zahnfarbbestimmung	15
2.7 Digitale Farbbestimmungssysteme	16
2.7.1 Kolorimeter	17
2.7.2 Digitalkameras.....	17
2.7.3 Spektrophotometer.....	18
2.8 Keramik	18
2.8.1 Zusammensetzung der Dentalkeramiken	18
2.8.2 Einteilung der Dentalkeramik.....	20
2.8.3 Eigenschaften der Dentalkeramik	20
2.8.4 Einfluss der Keramik auf die Farbproduktion	22
2.9 Einfluss der Stumpffarbe auf die Farbproduktion	23
2.10 Befestigungsmaterialien in der Zahnmedizin.....	23
2.10.1 Befestigungskomposite	24
2.10.2 Einfluss des Befestigungsmaterials auf die Farbproduktion.....	25
2.11 CAD/CAM-Technologie in der Zahnheilkunde	26
3 Material.....	28
3.1 Keramiken	28
3.1.1 VITA Real Life – VITA Zahnfabrik, Bad Säckingen Deutschland	28
3.1.2 IPS Empress CAD – Ivoclar Vivadent Dentaltechnik, Schaan Liechtenstein	30
3.1.3 VITA Mark II – Vita Zahnfarbik, Bad Säckingen, Deutschland	31
3.2 IPS Natural Die Material – Ivoclar Vivadent Dentaltechnik, Schaan Liechtenstein, Deutschland	31
3.2.1 Anfertigung der Farbstümpfe.....	32
3.3 Variolink® Veneer – Ivoclar Vivadent Dentaltechnik, Schaan Liechtenstein, Deutschland ..	33
3.4 Repositionierungshilfe	33
3.5 Abmusterungskammer.....	34
3.6 VITA Easyshade Advance 4.0.....	34

4	Methode.....	36
4.1	Referenzstumpf und keramische Restaurationen.....	36
4.2	Herstellung der Kronen	36
4.3	Messung vor der Politur (rau)	37
4.4	Messung nach der Politur (poliert)	37
4.5	Messung nach dem Glanzbrand (glazed)	38
4.6	Spektralfotometrische Analyse	39
4.7	Statistische Auswertung.....	40
5	Ergebnisse	42
5.1	Farbdifferenz (ΔE^*) innerhalb der Mehrfachmessung.....	42
5.2	Einfluss der unterschiedlichen Oberflächenbeschaffenheiten	43
5.2.1	Farbdifferenzen(ΔE^*) der Keramiken zwischen rau und poliert	43
5.2.2	Farbdifferenz (ΔE^*) der Keramiken zwischen rau und glazed.....	44
5.2.3	Farbdifferenz (ΔE^*) der Keramiken zwischen poliert und glazed	45
5.3	Einfluss der Stumpffarbe	46
5.3.1	Einfluss der Stumpffarbe auf die Keramik VITA Real Life 1.....	46
5.3.2	Einfluss der Stumpffarbe auf die Keramik VITA Real Life 2.....	47
5.3.3	Einfluss der Stumpffarbe auf die Keramik VITA Real Life 3.....	48
5.3.4	Einfluss der Stumpffarbe auf die Keramik IPS Empress CAD	49
5.3.5	Einfluss der Stumpffarbe auf die Keramik VITA Mark II.....	50
5.4	Einfluss der Farbe des Befestigungsmaterials.....	51
5.4.1	Einfluss des Befestigungsmaterials auf die Keramik VITA Real Life 1	51
5.4.2	Einfluss des Befestigungsmaterials auf die Keramik VITA Real Life 2	52
5.4.3	Einfluss des Befestigungsmaterials auf die Keramik VITA Real Life 3	53
5.4.4	Einfluss des Befestigungsmaterials auf die Keramik IPS Empress CAD.....	54
5.4.5	Einfluss des Befestigungsmaterials auf die Keramik VITA Mark II	55
6	Diskussion.....	56
6.1	Methodendiskussion	56
6.2	Ergebnisdiskussion	59
6.2.1	Einfluss der Oberflächenbeschaffenheit	59
6.2.2	Einfluss der Stumpffarbe.....	60
6.2.3	Einfluss der Farbe des Befestigungsmaterials.....	61
6.2.4	Einfluss der Keramikart	62
7	Zusammenfassung.....	64
8	Literaturverzeichnis.....	67
	Danksagung.....	77
	Lebenslauf	78

Abkürzungsverzeichnis

ANOVA	Analysis Of Variance, engl. für: Varianzanalyse
bzw	beziehungsweise
°C	°Celsius
CAD/CAM	Computer Aided Design/ Computer Aided Manufacturing, engl. für: computergestützte Konstruktion/ computergestützte Fertigung
CCD	Charge-Coupled Device (CCD) heißt ein ladungsgekoppeltes Halbleiterelement.
CIE	Commission Internationale de l'Éclairage, französisch für: Internationale Beleuchtungskommission
cm	Zentimeter
CMOS	Complementary metal-oxide-semiconductor ein Halbleiterdetektor zur Lichtmessung, der in CMOS-Technik gefertigt ist
d.h.	das heißt
DIN	Deutsches Institut für Normung (früher Deutsche Industrie- Norm)
Engl.	englisch
mm	Millimeter
nm	Nanometer
sek	Sekunde
sog	sogenannte
U/min	Umdrehungen pro Minute
z.B.	zum Beispiel

Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

- Abbildung 1: Lokalisierung im CIE-L*a*b* Farbraum [15]
Abbildung 2: Formel zur Berechnung ΔE
Abbildung 3: L*a*b*- und L*C*h°- Farbraum [15]
Abbildung 4: Formel zum Umrechnen L*a*b*- und L*C*h°-Koordinaten
Abbildung 5: Der Zahnfarbraum im L*a*b*/L*C*h°-System [15]
Abbildung 6: Anzahl der angetroffenen Zahnfarben 1M1 bis 5M3 des Vitapan 3D-MASTER Zahnfarbsystems in verschiedenen untersuchten Altersgruppen [28]
Abbildung 7: Farbring VITA Classical
Abbildung 8: VITA Toothguide 3D-Master
Abbildung 9: Lage einiger keramischer Produkte im Dreistoffsystem Tonerde-Feldspat-Quarz [57]
Abbildung 10: Übersicht dentale vollkeramische Systeme [61]
Abbildung 11: Übersicht dentale Befestigungsmaterialien
Abbildung 12: VITABLOCS Real Life
Abbildung 13: Darstellung der unterschiedlichen Positionierung (Schmelzbedeckung) von VITA Real Life Blöcken [99]
Abbildung 14: High Translucency und Low Translucency von IPS Empress CAD Keramik [101]
Abbildung 15: IPS Empress CAD LT-Blöcke [102]
Abbildung 16: VITA Mark II Keramikblock
Abbildung 17: Einfluss der Stumpffarbe auf die Farbe der Keramikrestauration [136]
Abbildung 18: Herstellung von Kunststoffstümpfen [137]
Abbildung 19: Variolink Veneer Transluzenzstufen
Abbildung 20: Kunststoffschiene als Positionierungshilfe
Abbildung 21: Displayanzeige von VITA Easyshade® Advance 4.0
Abbildung 22: Keramikpolierer der Firma Komet Dental
Abbildung 23: VITA Easyshade® Advance 4.0 mit Handstück und Ladestation
Abbildung 24: Kalibrierung des VITA Easyshade® Advance 4.0
Abbildung 25: Farbdifferenz (ΔE^*) innerhalb der Mehrfachmessung
Abbildung 26: Farbdifferenz (ΔE^*) der Keramiken zwischen rau und poliert
Abbildung 27: Farbdifferenz (ΔE^*) der Keramiken zwischen rau und glazed
Abbildung 28: Farbdifferenz (ΔE^*) der Keramiken zwischen poliert und glazed
Abbildung 29: Einfluss der Stumpffarbe auf die Keramik VITA Real Life 1
Abbildung 30: Einfluss der Stumpffarbe auf die Keramik VITA Real Life 2
Abbildung 31: Einfluss der Stumpffarbe auf die Keramik VITA Real Life 3
Abbildung 32: Einfluss der Stumpffarbe auf die Keramik IPS Empress CAD
Abbildung 33: Einfluss der Stumpffarbe auf die Keramik VITA Mark II
Abbildung 34: Einfluss der Try-in Paste auf die Keramik VITA Real Life 1
Abbildung 35: Einfluss der Try-in Paste auf die Keramik VITA Real Life 2
Abbildung 36: Einfluss der Try-in Paste auf die Keramik VITA Real Life 3
Abbildung 37: Einfluss der Try-in Paste auf die Keramik IPS Empress CAD
Abbildung 38: Einfluss der Zementfarbe auf die Keramik VITA Mark II
- Tabelle 1: Zusammensetzung von Porzellan und Dentalkeramiken [57]
Tabelle 2: Farbzusätze von Dentalkeramiken
Tabelle 3: Vorteile und Nachteile verschiedener Befestigungskomposite
Tabelle 4: Chemische Zusammensetzung der VITA Real Life und VITA Mark II Keramik [99]
Tabelle 5: Chemische Zusammensetzung IPS Empress CAD [101]

1 Einleitung

In der heutigen Zahnmedizin ist die Erwartung an die Ästhetik bei den meisten Patienten sehr hoch. [1] Es ist die Ästhetik, die in vielen Fällen über die Qualität einer Restauration entscheidet. [2]

Damit ein Zahnersatz ästhetisch wirkt, muss die Zahnstellung, Zahnform, die Oberflächenstruktur und vor allem die Zahnfarbe den Nachbarzähnen gut angepasst sein. Deswegen ist eine präzisen Farbbestimmung bei der Herstellung von natürlich aussehendem Zahnersatz sehr wichtig. Ein natürlicher Zahn besteht nicht nur aus einer Struktur, sondern es sind mehrere Schichten, die für den Farbeindruck verantwortlich sind. Die Reflexion und Streuung des Lichtes werden durch den Schmelz, Dentin und die Pulpa beeinflusst. [3] Die heutigen Dentalkeramiken kommen in ihrer optischen Eigenschaft (Transparenz, Opaleszenz und Fluoreszenz) den natürlichen Zähnen am nächsten. Daher sind vollkeramischen Restaurationen das Mittel der Wahl, wenn es darum geht die Erscheinung natürlicher Zähne optimal wiederherzustellen [4] Um ein hohes ästhetisches Ergebnis zu erreichen, wird bei den monolithischen Keramiksyste men auf die opake Gerüststruktur verzichtet. Diese Tatsache führt oft zu Problemen, da sich darunterliegende Strukturen auch auf die Farbe der Restauration auswirken. Um ein bestmögliches Resultat zu erzielen ist es also wichtig zusätzlich zur Zahn- und Keramikfarbe auch die Stupffarbe zu kennen. [5] Manchmal lässt sich bei der fertigen Restauration, trotz einer präzisen Farbbestimmung, ein farblicher Unterschied zu den Nachbarzähnen nicht vermeiden. Ist das der Fall, kann man versuchen mit farbigen Einsatzmaterialien das Endresultat zu beeinflussen. [6,7] Außer der Keramikart und Stumpf- bzw. Befestigungsmaterial-Farbe stellt auch die Oberflächenbeschaffenheit, d.h. Rauigkeit, Glanzgrad und Textur einen Einflussfaktor auf die Farbe einer Restauration dar [8,9].

Ziel dieser Untersuchung ist es den Einfluss von unterschiedlicher Oberflächenbeschaffenheiten, Farbe des Zahnstumpfes, und Farbe des Befestigungsmaterials, auf die Farbrealisation der monolithischen Keramiksyste me VITA Real Life (VITA Zahnfabrik, Bad Säckingen Deutschland), IPS Empress CAD (Ivoclar Vivadent Dentaltechnik, Schaan Liechtenstein) und VITA Mark II (VITA Zahnfabrik, Bad Säckingen Deutschland) zu evaluieren. Diese Faktoren sollen für Kronenrestaurationen untersucht werden, um die spezifischen Indikationen im klinischen Alltag umsetzen zu können.

2 Literaturdiskussion

2.1 Die Ästhetik

Die Kultur des Menschen wurde schon immer durch den Wunsch nach einem Ästhetischen Erscheinungsbild geprägt. Der Begriff Ästhetik kommt aus dem griechischen *aisthetis*=Wahrnehmung/Empfindung und war bis zum 19. Jahrhundert vor allem die Lehre von der Schönheit, von Gesetzmäßigkeiten und Harmonie in der Natur und Kunst. Die Ästhetik kann man nicht messen, da es von der Empfindung und Interpretation des Einzelnen abhängt, was als ästhetisch empfunden wird [10]. Durch den Einfluss der Medien haben die Menschen heute genaue Vorstellung davon, welche äußere Merkmale als attraktiv empfunden werden. Eines der wichtigsten Merkmale ist dabei das Lächeln. Hauptgrund der Zufriedenheit machen dabei die Farbe und die Form der Frontzähne aus. Die Attraktivität des eigenen Gesichtes spielt eine große Rolle für die Entfaltung des eigenen Selbstbildes und die Bestätigung im sozialen Umfeld [11]. Somit wird das Streben nach einem attraktiven Äußeren immer größer [12]. Auch die Anforderungen an die Zahnmedizin hat durch das Streben nach ästhetisch ansprechendem Zahnersatz immer mehr zugenommen [10]

2.2 Farbraum

Für die Beurteilung der Qualität eines Zahnersatzes spielt für die Patienten, die passend ausgewählte Zahnfarbe eine entscheidende Rolle [2]. 1931 veröffentlichte die Internationale Beleuchtungskommission CIE (Commission Internationale de l'Éclairage) das Normvalenzsystem [13]. Es wird davon ausgegangen, dass aus Primärfarben Rot, Grün und Blau alle anderen Farben erzeugt werden können [14]. Der dabei entstandene CIE XYZ-Farbraum, bildet alle wahrnehmbaren Farben dar. Die Y-Koordinate repräsentiert dabei die Helligkeit und die X- und Z-Koordinaten die „Farbigkeit“. So kann jede Farbe eindeutig innerhalb eines dreidimensionalen Farbraumes identifiziert werden [13].

Zur einfachen Darstellung des CIE XYZ-Farbraumes, wurde die zweidimensionale CIE-Normfarbtafel entwickelt. Da der Farbton nicht von der Helligkeit abhängig ist, wurde hierfür ein horizontaler schnitt durch den CIE XYZ-Farbraum auf der Höhe $Y=1$ gemacht. Es entstand dabei eine hufeisenförmige Fläche mit einem weißen „unbunt

punkt“ in der Mitte. Eine sog. „Spektralfarblinie“ mit einem Wellenbereich 380nm bis 780nm, begrenzt das Hufeisen entlang des oberen Bogenrandes. Die untere Linie, sog. „Purpurlinie“, ist die Verbindung zwischen dem kurzwelligen Violett und dem langwelligen Rot. Vom Rand der „Normfarbtafel“, zur Mitte hin wird die Sättigung der jeweiligen Farbe immer geringer. So konnten Farbtöne, ohne Helligkeitsinformation abgebildet werden. Auf der x-Achse kann dabei der Wert für Rot und auf der y-Achse der Wert für Grün abgelesen werden. Der Wert z für Blau kann durch die Formel $x + y + z = 1$ berechnet werden [13].

1976 hat die Internationale Beleuchtungskommission das CIE-L*a*b*-System veröffentlicht [15]. Damit lassen sich exakte Farbentfernungen definieren und in einem dreidimensionalen Farbraum abbilden.

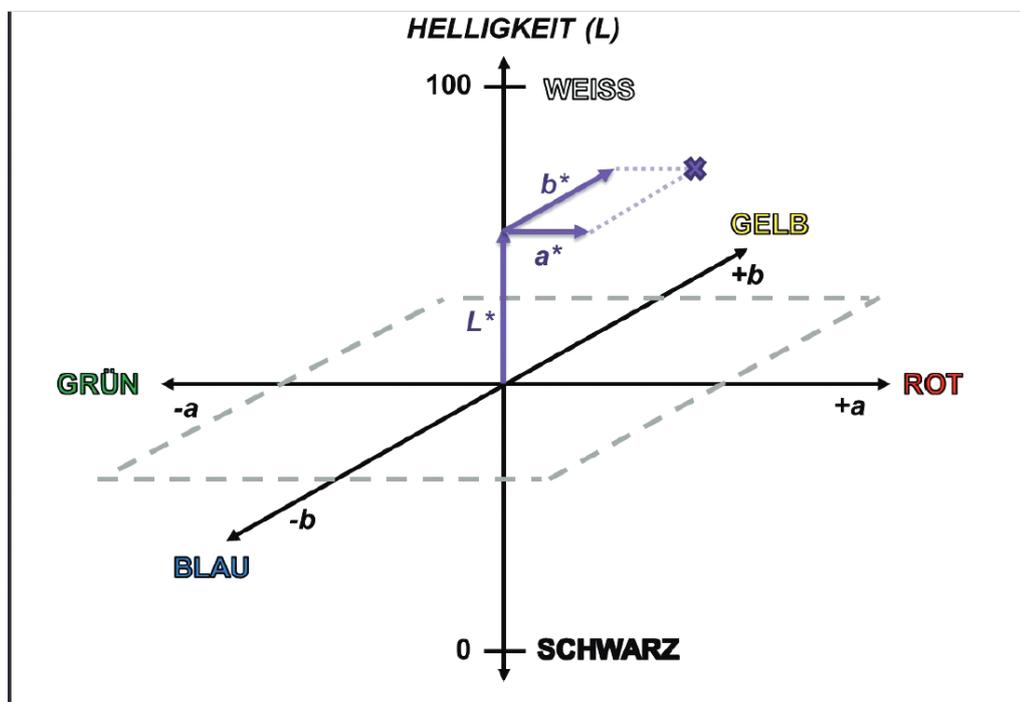


Abbildung 1: Lokalisierung im CIE-L*a*b* Farbraum [15]

Die ΔL^* -Koordinate steht dabei für Helligkeit, mit den Werten von $L^*=100$ für „Weiß“ an der Spitze, bis $L^*=0$ für „Schwarz“ ganz unten. In einem 90° Winkel stehen horizontal die beiden Farbachsen dazu. Auf der a^* -Achse stehen positive a^* -Werte für rote und negative a^* -Werte für grüne Farbtöne. Die b^* -Achse beschreibt mit positiven b^* -Werten den gelben und mit negativen b^* -Werten den blauen Farbbereich. Die Farbsättigung ist am Achsenschnittpunkt am geringsten (sog. „unbunt punkt“) und nimmt nach außen hin zu [15]. Will man zwei Farben miteinander vergleichen, so muss der Abstand der geometrischen Lage bestimmt werden, in der Einheit ΔE .

$$\Delta E^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}$$

$$\text{mit } \Delta L^* = L_1^* - L_2^* ; \Delta a^* = a_1^* - a_2^* ; \Delta b^* = b_1^* - b_2^*$$

Abbildung 2: Formel zur Berechnung ΔE

Ein $\Delta E \leq 1$ wird bei zahnmedizinischen Untersuchungen als Grenzwert definiert, welcher von 50% der Betrachter wahrgenommen wird [16]. Als klinisch nicht mehr akzeptabel wird ein $\Delta E \geq 3,7$ eingestuft [17].

2.3 Zahnfarbraum

Um auch die Lage der Zahnfarben im CIE- $L^*a^*b^*$ -Farbraum zu bestimmen, wurden die Koordinaten zu einem $L^*C^*h^\circ$ -System modifiziert. Die L^* -Koordinate repräsentiert dabei, analog zum $L^*a^*b^*$ -System, die Helligkeit (engl.: lightness“). Der C-Wert (engl.: chroma“) steht für Farbsättigung und beschreibt den Abstand zur L^* -Koordinate. Der Wert h° wird durch den Winkel zwischen der a^* -Achse aus dem $L^*a^*b^*$ -System und der Strecke zwischen L^* und C^* bestimmt [15].

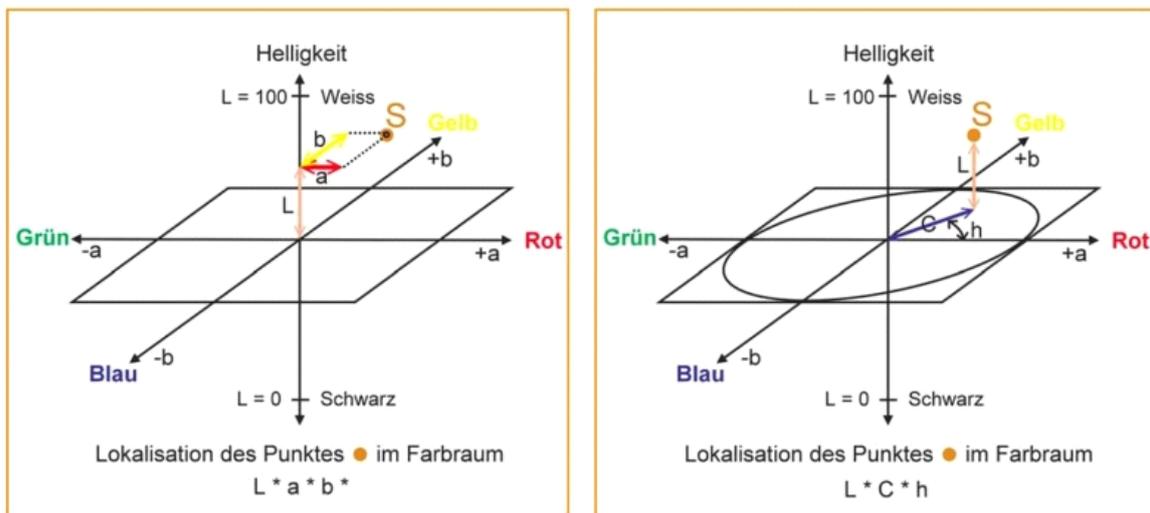


Abbildung 3: $L^*a^*b^*$ - und $L^*C^*h^\circ$ - Farbraum [15]

Da die Farbverteilung vom $L^*a^*b^*$ - und $L^*C^*h^\circ$ -System im identischen Farbraum liegen, können die einzelnen Variablen mit folgenden Gleichungen umgerechnet werden:

$$C^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2} ; h^* = \frac{b^*}{\sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2}}$$

Abbildung 4: Formel zum Umrechnen $L^*a^*b^*$ - und $L^*C^*h^\circ$ -Koordinaten

Wenn man die Zahnfarben in das $L^*a^*b^*$ -Farbraum überträgt, kann ein bananenförmiger Zahnfarbraum gebildet werden. Da sich die natürlichen Zahnfarben vor allem durch die Helligkeit unterscheiden, liegt der Zahnfarbraum vertikal zur zentralen Schwarz-Weiß-Achse. Dunklere Zahnfarben befinden sich dabei weiter unten am Achsen-schnittpunkt, helle Zahnfarben dagegen liegen näher zum oberen Pol der L^* -Achse. Zahnfarben mit höherem Gelbanteil befinden sich näher an der b^* -Achse und die mit höherem Rotanteil näher an der a^* -Achse [15]. Die Sättigung der Zahnfarben ist schwach ausgeprägt, deswegen liegt der Zahnfarbraum nah an der zentralen L^* -Achse.

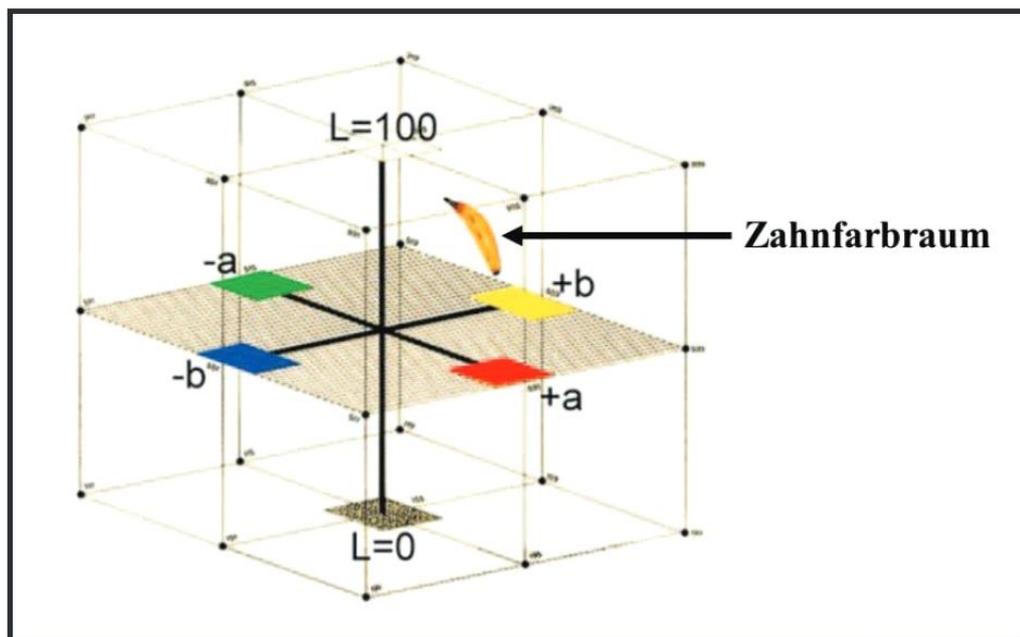


Abbildung 5: Der Zahnfarbraum im $L^*a^*b^*/L^*C^*h^\circ$ -System [15]

2.4 Entstehung der Zahnfarbe

Um die Farbe der Restauration bestmöglich an die Farbe der natürlichen Zähne anpassen zu können, ist es wichtig die Farbentstehung der Zähne verstehen und dokumentieren zu können [18].

Wenn das Licht auf die Zahnoberfläche auftritt, wird ein Teil des Lichtstrahls gestreut, ein Teil resorbiert und der andere reflektiert. Diese lichtoptischen Effekte sind für die Wahrnehmung der Zahnfarbe durch das Auge verantwortlich [19]. Schaut man sich die Lichtdurchlässigkeit der einzelnen Bestandteile des Zahnes an, so fällt hier die Differenzierung zwischen opaken und transluzenten Strukturen auf. Die Transluzenz beschreibt dabei die Lichtdurchlässigkeit eines Körpers und die Opaleszenz eine Wechselwirkung aus Absorption und Reflektion des Lichtes [3]. Ein Zahn besteht im Inneren aus der Pulpa, dem Dentin und der äußeren Schmelzschicht. Alle Zahnschichten haben verschiedenen Aufbau und unterschiedliche Lichtdurchlässigkeit [20]. Die Pulpa ist dunkelrot gefärbt und hat vor allem bei jungen Menschen großen Einfluss auf die Zahnfarbe. Im Alter wird das Pulpakavum enger und der Einfluss auf die Zahnfarbe nimmt ab [21]. Das Dentin macht den größten Zahnanteil aus, vor allem im zervikalen Bereich und hat auch den stärksten Einfluss auf die Zahnfarbentstehung [22]. Es besteht zu zwei Drittel aus Hartgewebe und zu einem Drittel aus Dentinkanälchen. Der hohe organische Anteil ist für die schwache Lichtdurchlässigkeit des Dentins verantwortlich. Durch die Dentinkanälchen, die von der Pulpa nach außen verlaufen wird ein Teil des Lichtstrahls gestreut [23]. Für das Dentin wurde ein Farbwert von etwa 580nm ermittelt, was einem orange-gelben Farbton entspricht [24]. Im inzisalen Bereich des Zahnes dominiert die Schmelzschicht [25]. Diese äußere Schicht des Zahnes ist aus Prismen aufgebaut, die eine kristalline Struktur aufweisen. Die stäbchenförmigen Apatitkristalle sind für die Brechung und Reflektion der Lichtstrahlen verantwortlich, sind also für die Zahnfarbgebung und Helligkeitsempfindung signifikant [24]. Die Stärke der Schmelzschicht ist sehr altersabhängig. Die stark ausgeprägte Schmelzschicht bei jungen Menschen hat eine geringe Transluzenz und erhöhte Opaleszenz. Die Zahnfarbe ist dabei heller und oft milchig-trüb [26]. Im Alter nimmt die Schmelzstärke ab und das darunterliegende Dentin dominiert mit seinem Gelbton die Farbgebung des Zahnes [27]. Es kommt also zu einer Verschiebung zu dunklen Zahnfarben. Eine Untersuchung mit Vitapan 3D-Master Farbring, hat ergeben, dass in der Altersgruppe 18-34-Jähriger ist eine Häufung in den Helligkeitsstufen 2 und 3 zu beobachten. Mit steigendem Alter, zwischen 35 und 54 Jahren dominiert die 3 Helligkeitsstufe sehr eindeutig.

Bei über 55-jährigen wird oft die 4 Helligkeitsstufe gemessen [28]. Bei der Verwendung des Vitapan 3D-Master Farbringes findet die Farbbestimmung basierend auf dem CIE L*a*b*-System statt. Es orientiert sich also am dreidimensionalen Farbraum [29]. Für die Erfassung der Farbwerte ist die Helligkeitsbestimmung im ersten Schritt sehr wichtig. Helligkeitsstufe 1 ist dabei die hellste und 5 die dunkelste. Anschließend wird die Farbintensität ausgesucht und untersucht, ob evtl. ein gelblicher, oder rötlicher Farbton vorliegt [30].

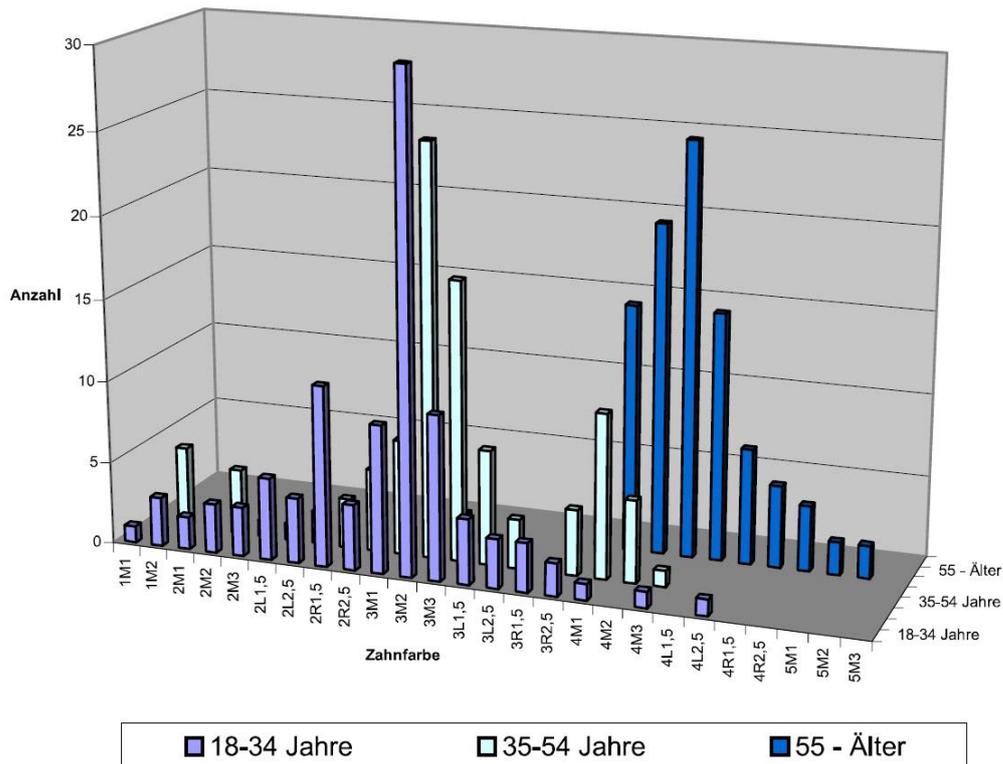


Abbildung 6: Anzahl der angetroffenen Zahnfarben 1M1 bis 5M3 des Vitapan 3D-MASTER Zahnfarbsystems in verschiedenen untersuchten Altersgruppen [28]

Die Oberflächen Struktur des Zahnes ist für die Farbgebung ebenfalls relevant. Im Laufe der Zeit wird der Schmelz durch Nährstoffe aus Speichel und Lebensmittel immer stärker mineralisiert. Auch physiologische Abnutzungserscheinungen verändern die Struktur des Schmelzes. Der Oberflächenglanz kann also mit der Zeit sowohl zu als auch abnehmen. Durch glatte Oberflächen wird das Licht direkt reflektiert, dagegen verursachen raue oder unebene Oberflächen eine diffuse Reflektion und die Farbe wirkt stumpf [31].

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass das Dentin und die Größe der Schmelzschicht den Farbton und die Farbintensität bestimmen und die Qualität und Stärke des Zahnschmelzes für die Zahnelligkeit verantwortlich sind [32]

2.5 Einflussfaktoren auf die Zahnfarbbestimmung

Einer der Hauptgründe für Patientenunzufriedenheit und Neuanfertigung der Restaurationen ist eine ungenaue Auswahl der Zahnfarbe [33]. Jeder Mensch hat eine individuelle Farbwahrnehmung, da jeder physiologisch und psychologisch unterschiedlich veranlagt ist. Deswegen ist es in der Zahnmedizin wichtig den Patienten in die Farbauswahl für Zahnersatz mit einzubeziehen, um bestmögliche Ergebniszufriedenheit zu erzielen [34].

Es gibt einige Faktoren, die die Farbempfindung des Betrachters beeinflussen können. Dazu gehören neben den persönlichen Unterschieden in der Farbwahrnehmung auch die Umgebungsbedingungen, wie Tageslicht, Raumbelichtung und Tagesverfassung des Betrachters sind nur einige davon. Die Beleuchtungsverhältnisse während der Farbauswahl können den Behandler deutlich beeinflussen. Wenn die Beleuchtung zu schwach, oder zu intensiv ist, wird es schwierig sein, die Farbdifferenzen wahrzunehmen [35]. Als ideal für die Farbabmusterung gilt diffuses Nordlicht zur Mittagszeit. Um wetterbedingten Schwankungen des Tageslichts entgegenzuwirken und die Farbauswahl zu standardisieren, empfiehlt die CIE-Norm Beleuchtungskörper mit 6500 Kelvin zu verwenden [36]. Es ist auch ratsam die Zahnfarbe vor Behandlungsbeginn zu bestimmen. So wird der Veränderung der Oberflächenstruktur durch Austrocknen des Zahnes während der Behandlung vorgebeugt [34]. Zusätzlich lassen sich so Fehler durch Ermüdung des Auges des Behandlers vermeiden. Ein Visueller Vergleich sollte die Dauer von 5 Sek. nicht überschreiten, da bereits nach so kurzer Zeit Ermüdungserscheinungen des Auges und eine Schwächung der visuellen Wahrnehmung eintreten können [37]. Eine zu farbintensive Umgebung, durch Möbel, Wände, Kleidung oder Make-Up sollte vermieden werden, um das Risiko der fehlerhaften Farbbestimmung durch Wechselwirkung von Farbe zu minimieren. Der Ideale Winkel für die Lichtquelle sollte beim Betrachten des Zahnes etwa 45° betragen, um Störungen durch Lichtreflexe auszuschließen. Der Abstand zum Patienten soll 50-70 cm (Armlänge) betragen [38].

2.6 Visuelle Zahnfarbbestimmung

Bei der Visuellen Zahnfarbbestimmung werden industriell gefertigte, normierte Zahnfarbmuster aus Keramik oder Kunststoff verwendet [39]. In sogenannten

Zahnfarbringen sind dabei je nach Hersteller sechzehn bis dreißig verschiedene Zahnfarbmuster zusammengestellt, um durch Vergleichen die natürliche Zahnfarbe zu bestimmen und auf Zahnersatz zu übertragen [40]. Die Farbringe VITA Classical und VITA 3D-Master (VITA Zahnfabrik, Bad Säckingen, Deutschland) gehören laut einer weltweiten Untersuchung an Universitäten zu den am häufigsten gelehrt Skalen [41].



Abbildung 7: Farbring VITA Classical



Abbildung 8: VITA Toothguide 3D-Master

2.7 Digitale Farbbestimmungssysteme

Um die verzerrenden Einflussfaktoren, wie Lichtverhältnisse, Umgebungseinflüsse und Sehvermögen des Betrachters auszuschalten und standardisierte und

reproduzierbare Ergebnisse zu ermöglichen verwenden immer mehr Behandler digitale Farbbestimmungssysteme in ihrer Praxis [19]. Dadurch lässt sich nicht nur die Farbermittlung objektivieren, sondern auch die Kommunikation zwischen Zahnarzt und Zahntechniker erleichtern [42]. Bei den Technologien der digitalen Farbbestimmungssystemen unterscheidet man zwischen Kolorimeter, Spektrophotometer und Digitalkameras mit entsprechender Softwareapplikation [43]. Weiterer Unterschied besteht im gemessenen Zahnbereich. Die sogenannten „spot measuring devices“ (SM-Geräte) erfassen nur einen geringen Teil der Zahnoberfläche zur Zahnfarbermittlung. Bei dem Spektralphotometer VITA Easyshade beträgt die Größe der optischen Blende nur 3 mm². Mit solchem Gerät müssen mehrere Messungen an verschiedenen Stellen des Zahnes durchgeführt werden, um Farbkarten des Zahnes zu erstellen. Beim „complete tooth measurement devices“ (CTM-Gerät) wird durch einen Messvorgang die gesamte Zahnoberfläche erfasst [44].

2.7.1 Kolorimeter

Mit einem Kolorimeter wird die Zahnfarbe in drei Bereichen berechnet, der Helligkeit (L^*), Farbsättigung rot-grün (a^*) und Farbsättigung blau-gelb (b^*). Diese Messergebnisse entsprechen dem CIE $L^*a^*b^*$ -System. Es werden eine standardisierte Lichtquelle und die Farbfilter für Rot, Grün und Blau verwendet. So wird das reflektierte Licht in rote, grüne und blaue (RGB) Strahlung geteilt und anhand deren Intensität die CIE $L^*a^*b^*$ -Farbkoordinaten berechnet [48]. Kolorimeter gehören zu den Flächenmessgeräten. Die Messgenauigkeit der Kolorimeter hängt von der Qualität der Farbfilter ab, so dass die Farbergebnisse mit dem Altern des Filters sich ändern können [49].

2.7.2 Digitalkameras

Dentale RGB-Systeme machen sich zur Farbbestimmung die digitale Fotografie zu Nutze [50]. Dabei wird das einfallende Licht von einem CCD- oder CMOS-Sensor aufgenommen und digital zu einem hochauflösenden Farbbild zusammengefügt [48]. Die Farben entstehen dabei durch das Addieren und Zusammenmischen der drei Grundfarben rot, grün und blau (RGB). Für die Farbauswertung wird eine Software benötigt, um die aufgenommenen Bilder mit bekannten Zahnfarben zu vergleichen [51].

2.7.3 Spektrophotometer

Spektrophotometer besitzen als Lichtquelle einen Monochromator. Daher sind diese Messungen nahezu unabhängig von einer Lichtquelle und sind in der Lage reproduzierbar systematische Ergebnisse zu liefern. Das Licht wird vom Messgerät auf die Fläche des Zahnes gestrahlt. Die reflektierte Lichtmenge wird durch ein Beugungsgitter in ihre spektralen Bestandteile zerlegt [50]. Das für den Menschen sichtbare Lichtspektrum der Wellenlänge 380-720nm wird in 1-25nm Intervallen analysiert und die Messdaten in einer Remissionskurve dargestellt. Die erfassten Informationen werden auch in numerische Werte umgewandelt, so dass der Anwender die CIE L*a*b*- und L*C*h°-Koordinaten erhält [52].

2.8 Keramik

Der hohe Anspruch auf ästhetisch hochwertigen Zahnersatz und der überragende technische Fortschritt in der Dentalindustrie, hat im Laufe der letzten 30 Jahren neue vollkeramische Werkstoffe für Zahnersatz hervorgebracht [53]. Diese sind für den menschlichen Organismus nicht nur gut verträglich, sondern auch langlebig [54]. Herkömmliches Porzellan und Dentalkeramiken unterscheiden sich in der Zusammensetzung der Anteile von Quarz, Feldspat und Ton/Kaolin. In den Dentalkeramiken überwiegt der Feldspatanteil, welcher die Viskosität und Standfestigkeit verbessert und so für gute Modellierbarkeit sorgt [55].

	Feldspat	Quarz	Kaolin
Porzellan	12-30 Gew.%	20-30 Gew.%	40-70 Gew.%
Dentalkeramik	60-80 Gew.%	15-25 Gew.%	0-5 Gew.%

Tabelle 1: Zusammensetzung von Porzellan und Dentalkeramiken [57]

2.8.1 Zusammensetzung der Dentalkeramiken

Keramik wird durch Brennen (Sintern) hergestellt und gehört zu kristallinen, anorganisch-nichtmetallischen Werkstoffen. Erde/Ton in Pulverform wird bei Raumtemperatur zu keramischem Körper geformt und durch Brennen in einen festen Stoff überführt [56].

Die untere Abbildung zeigt die Lage der Keramik im Dreistoffsystem Tonmineralsubstanz-Feldspat-Quarz [57]. Die Dentalkeramik liegt im Ausscheidungsbereich der Kristallphase Leuzit, wohingegen sich das Porzellan im Ausscheidungsbereich der Mullitkristalle befindet [58].

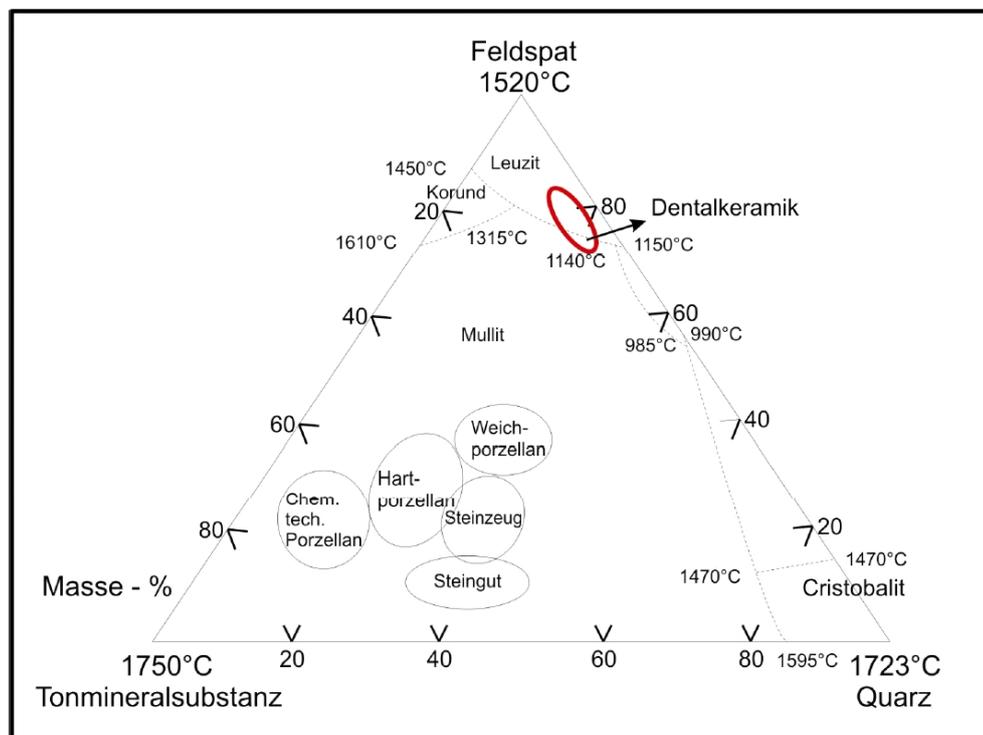


Abbildung 9: Lage einiger keramischer Produkte im Dreistoffsystem Tonerde-Feldspat-Quarz [57]

Durch den hohen Anteil an Kaolin wirkt Porzellan sehr opak. Es fehlt an Transparenz und Transluzenz, Eigenschaften, die für zufriedenstellende ästhetische Wirkung des Zahnersatzes unabdingbar sind. Daher wird beim Herstellen von Dentalkeramiken mehr Feldspat beigemischt. Das Zugabe von Leuzitkristallen oder Aluminiumkristallen während der Herstellung von Dentalkeramiken verhindert das Zerfließen während des Brennvorgangs und gibt der Keramik im Anschluss eine deutliche mechanische Festigkeit [55]. Der enthaltene Quarz steigert die Standfestigkeit der Keramik beim Brennvorgang [59]. Beim Abkühlen wird die Quarzschmelze zu Glas [60].

Um den Dentalkeramiken eine ästhetische Vielfalt zu verleihen, werden je nach Farbwunsch verschiedene Zusätze wie Metalloxide und -salze mitverarbeitet.

Eisenoxid	Gold	Chromoxid
Rot/gelb	Purpur	Grün
Iridium	Kobald	Titan
Schwarz	Blau	Gelb/braun
Silber	Nickel	Zinn
Orange	Grau	weiß

Tabelle 2: Farbzusätze von Dentalkeramiken

2.8.2 Einteilung der Dentalkeramik

Dentalkeramische Werkstoffe werden nach ihrer Zusammensetzung in zwei Gruppen unterteilt. Es gibt eine Gruppe der mehrphasigen Silikatkeramiken, mit höherem Glasanteil. Zu dieser Gruppe zählen die Feldspatkeramik und Die Glaskeramik. Die Feldspatkeramik wurde ursprünglich aus dem Geschirrporzellan abgeleitet. Die zweite Gruppe sind Oxidkeramiken, mit keinem, oder sehr geringem Glasanteil. Die Oxidkeramiken sind Glasinfiltriert, oder Polykristalin und dadurch sehr fest [61]

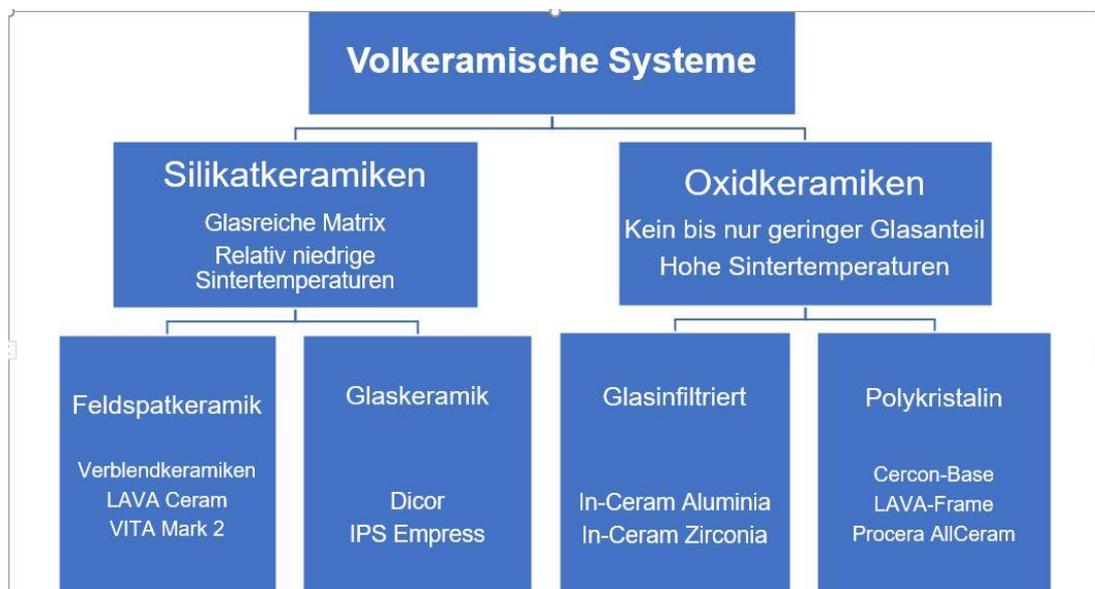


Abbildung 10: Übersicht dentale vollkeramische Systeme [61]

2.8.3 Eigenschaften der Dentalkeramik

Lange Zeit war die Dentalkeramik durch deren Sprödigkeit, Rissbildung, geringer Zugfestigkeit und Abriebwiderstand, sowie der unpräzisen Passung der klassischen

Verbundmetallkeramik unterlegen [62]. Die Verbundmetallkeramiken vereinen die Vorteile der Stabilität durch das Metallgerüst und der Ästhetik durch die Verblendkeramik. Bei Situationen mit geringem Platzangebot kommen die Verbundmetallkeramiken an die Grenze ihrer ästhetischen Möglichkeiten. Das Metallgerüst kann dann nicht ausreichend abgedeckt werden und kann durch die Verblendkeramik durchschimmern [63]. Anfang der 90iger Jahre wurde mit Zirkondioxid (ZrO_2) ein Gerüstmaterial entwickelt, welches die Stabilität der Keramischen Restaurationen verbesserte. Im Vergleich zu Metallgerüsten konnten mit Zirkondioxidgerüsten ähnliche Frakturraten erreicht werden. Allerdings war ein Problem mit dem teilweisen Abplatzen der Verblendkeramik (Chipping) zu erkennen. Die Ursache dafür war der Verbund zwischen dem Zirkondioxidgerüst und der Verblendkeramik [64,65,66]. Metallbasierte Kronen und Brücken zählen immer noch zum Goldstandard beim Zahnersatz [67]. Das liegt zum Teil daran, dass für die vollkeramische Rekonstruktion viel weniger Literatur und Untersuchungen nach Überlebens- und Komplikationsraten vorliegen. Es liegt ein viel kürzerer Beobachtungszeitraum für vollkeramische als für metallkeramische Restaurationen vor [68]

Je nach klinischer Indikation stehen verschiedene Keramiksysteme zur Verfügung. So wird bei strukturellen Zahnrekonstruktion, wie Inlay, Onlay und Veneer meist monolithische Glaskeramik bzw. Presskeramik verwendet. Dieses Keramiksystem besteht aus nur einer Schicht. Bei Kronen und Brückenversorgung wird eher auf die Kombination aus Keramikgerüst und Verblendkeramik zurückgegriffen. Diese hochfeste Keramiksysteme sind für großflächige Rekonstruktionen und Maskierung verfärbter Zahnstümpfe besser geeignet [69].

Zu den positiven Eigenschaften der Dentalkeramiken zählen die hohe Biokompatibilität und geringe Plaqueanlagerung [70]. Zu den biologischen Komplikationen beim Zahnersatz gehören Karies, parodontale Erkrankungen, Wurzelfrakturen und der Vitalitätsverlust. Die biologischen Komplikationen wurden bis jetzt nur vereinzelt für vollkeramische Rekonstruktionen dokumentiert. Der geringere Substanzabtrag bei der Präparation im Vergleich zu metallkeramischen Versorgungsen senkt das Risiko einer endodontischen Komplikation ab. Diese Beobachtungen können sich positiv auf die Langzeitprognose auswirken [71]. Weitere Vorteile der keramischen Restaurationen sind die geringe thermische Leitfähigkeit, die auf dem Fehlen der freien Elektronen beruht und hohe Farbbeständigkeit [72].

2.8.4 Einfluss der Keramik auf die Farbproduktion

Die Keramik kann die finale Farbe einer im Mund eingesetzten keramischen Restauration durch Materialstärke, Materialfarbe, Transluzenz und Oberflächenstruktur beeinflussen.

Es wurde untersucht, dass eine Restauration mit der Keramikstärke von 2mm den Einfluss der Stumpffarbe auf das Endergebnis messbar abschwächen kann. Durch die Materialstärke wird die absorbierte und die gestreute Lichtmenge beeinflusst [73]. Je dünner die gewählte Keramikschicht bei der Restauration ist, desto mehr muss auf die Stumpf- und Zementfarbe geachtet werden. Eine Keramikstärke von 1mm, wie sie oft bei Veneerversorgung vorliegt führte bei der spektralfotometrischen Analyse von unterschiedlichen Stumpf- und Zement-Kombinationen stets zu einer wahrnehmbaren Farbdifferenz ($\Delta E^* > 1$) [74].

Farbe und Transluzenz der verwendeten Keramik ist mitentscheidend, wie gut die keramische Restauration die Farbe des Zahnstumpfes maskiert. Auf dem Markt gibt es einige Dentalkeramiken für das CAD/CAM-System, die in hohen und niedrigen Transluzenzstufen angeboten werden. So ist z.B. die Leuzit-Glaskeramik IPS Empress CAD in den Transluzenzstufen HT (high translucency) und LT (low translucency) erhältlich. Die Transluzenz einer Keramik wird durch die Kristallstruktur sowie durch Korngrößen, Farbpigmente, Einschlüsse und Mikroporositäten bedingt [75]. Dede et al untersuchten Scheiben aus Lithiumdisilikat-Keramik in der Farbe A2 in zwei unterschiedlichen Transluzenzstufen: MO (medium-opacity) und HT (high-translucency). Die Untersuchung ergab keinen signifikanten Unterschied [76]. Die dabei untersuchte Materialstärke war 1,5 mm, was die niedrige Farbdifferenz (ΔE^*) erklären könnte.

Die Oberflächenbeschaffenheit, d.h. der Glanzgrad, Rauigkeit und die Textur der Keramik stellt einen weiteren wichtigen Faktor dar, der die Farbe einer Restauration entscheidend verändern kann [77]. Die Oberflächenrauigkeit hat Einfluss auf spektrophotometrische Farbmessungen. An rauen Oberflächen kommt es zu diffusen Reflexionsmustern im Vergleich zur Reflexion an spiegelglatten Oberflächen. Dies beeinflusst die Farbeigenschaften [78]. Die Politur von keramischen Restaurationen ist daher ein wichtiger Einflussfaktor auf die Farbeigenschaften [79]. Auch die Transluzenzeigenschaften werden durch die Politur beeinflusst [75].

2.9 Einfluss der Stumpffarbe auf die Farbproduktion

Der Grad der Stumpfverfärbung ist mitentscheidend für die Wahl des geeigneten Restaurationsmaterials und der Präparationstiefe. Die Farbe des Zahnstumpfes kann einen erheblichen Einfluss auf das Farbergebnis der Restauration haben. Dies ist besonders der Fall, wenn die Keramikstärke nicht ausreicht, um den Zahnstumpf vollständig zu maskieren.

Untersuchungen von Azer et al, Ali Ben Ali et al zeigten, dass wenn die Keramikstärke 2 mm unterschreitet, signifikante Farbdifferenzen ($\Delta E^* > 1$) zu erwarten sind [80,81].

2.10 Befestigungsmaterialien in der Zahnmedizin

Um eine prothetische Restauration dauerhaft im Mund befestigen zu können bedient man sich in der Zahnmedizin der Befestigungsmaterialien [82]. Zu klassischen dentalen Befestigungsmaterialien gehören die Zemente, die über Säure-Basen-Reaktion aushärten und nur mechanische Haftung herstellen. Die Stumpfpräparation muss daher Retentionen aufweisen. Die Anwendung ist schnell und Einfach und eine relative Trockenlegung beim Befestigen ist meistens ausreichend [83]. Moderne Befestigungsmaterialien wirken über adhäsive (klebende) Haftvermittlung zwischen Schmelz bzw. Dentin und dem Restaurationsmaterial [84]. Dies ermöglicht eine minimal invasive Präparation der Zähne. [83]

Die heutige Befestigungsmaterialien lassen sich in 6 Gruppen unterteilen. In der Abbildung 11 sind die Vor- und Nachteile der Einzelnen Befestigungsmaterialien aufgelistet.

Befestigungsmaterial	Beschreibung	Vorteile	Nachteile
Polycarboxylat-Zemente	Säure-Base-Reaktion zwischen Metalloxiden und Polyacrylsäure	<ul style="list-style-type: none"> • Einfache Handhabung • Geringe Kosten 	<ul style="list-style-type: none"> • Hohe Wasserlöslichkeit
Phosphatzemente	Säure-Base-Reaktion zwischen Phosphorsäure und basischen Oxiden	<ul style="list-style-type: none"> • Einfache Handhabung • Klinische Erfahrung seit mehr als 100 Jahren 	<ul style="list-style-type: none"> • Geringe Haftung: ausschliesslich retentive Befestigung • Hohe Wasserlöslichkeit • Sehr spröde
Glasionomerzemente	Säure-Base-Reaktion zwischen Polyacrylsäure und Calciumfluoraluminium-silikat-Glas	<ul style="list-style-type: none"> • Freigabe von Fluorid • Klinische Erfahrung seit mehr als 20 Jahren 	<ul style="list-style-type: none"> • Schwache Haftung an Zahnhartsubstanz
Kunststoffverstärkte Glasionomerzemente	Hybrid-Zemente: Glasionomerzemente mit zusätzlichen lichterhärtenden Komponenten	<ul style="list-style-type: none"> • Kombination aus anorganischem und licht-induziertem Polymer-Netzwerk 	<ul style="list-style-type: none"> • Meist schwache Haftung an Zahnhartsubstanz
Selbstadhäsive Composite-Zemente	Organische Monomere und anorganische Füllpartikel; Härtung basiert auf Licht-initiiert oder chemisch initiiert Polymerisation und Vernetzung	<ul style="list-style-type: none"> • Abrasionsbeständig • beständig im Mundmilieu • Anwendung ohne Adhäsiv 	<ul style="list-style-type: none"> • Teils techniksensitiv • Geringe Haftung auf Zähnen • Retentive Präparation
Adhäsive Befestigungscomposites	Organische Monomere und anorganische Füllpartikel; Abbindung basiert auf licht-aktivierter oder chemisch aktivierter Polymerisation und Vernetzung	<ul style="list-style-type: none"> • Abrasionsbeständig • beständig im Mundmilieu • Guter Verbund zur Zahnstruktur • Sehr gute Ästhetik durch Farbauswahl möglich 	<ul style="list-style-type: none"> • Teils techniksensitiv • Adhäsiv erforderlich • Aufwendigere Anwendung

Abbildung 11: Übersicht dentale Befestigungsmaterialien

2.10.1 Befestigungskomposite

Die heute verwendeten transluzenten Restaurationen erfordern moderne Befestigungssysteme. Für hochästhetische Ergebnisse sollte die Restauration sich nahtlos an die Farbe der Nachbarzähne anpassen. (Chamäleon-Effekt). Diese Wirkung kann nur unter Verwendung eingefärbter Befestigungsmaterialien erreicht werden. [83]

Die Einteilung der Befestigungskomposite erfolgt in selbstadhäsive und adhäsive Systeme. Als erstes selbstadhäsive Befestigungskomposite wurde 2002 relyX Unicem auf den Markt gebracht. Bei der Anwendung solcher Befestigungskomposite ist keine Konditionierung des Dentins notwendig. Das Material kann direkt appliziert werden. [85] Es demineralisiert und infiltriert die Zahnhartsubstanz gleichzeitig, aufgrund des niedrigen pH-Wertes bei der Abbindereaktion [86]. Auch die bei der Präparation entstehende Schmierschicht wird bei der Verwendung von selbstadhäsiven

Befestigungsmaterialien nicht entfernt. Diese wird mitinfiltriert und stabilisiert was zusätzlich zur Haftung beiträgt [87].

Die adhäsive Befestigungskomposite werden in Kombination mit Dentinadhäsiven verwendet. Die Anwendung der adhäsiven Befestigungskomposite ermöglicht eine Befestigung auch an kleinen präparierten Flächen. Auch die Bruchfestigkeit der meisten Glaskeramiken werden durch adhäsive Befestigung gesteigert [88].

Adhäsive Befestigungscomposites können lichthärtend (light-curing, LC), selbsthärtend (self-curing, SC) oder dualhärtend (dual-curing, DC) sein. Dualhärtende Befestigungscomposites enthalten sowohl selbsthärtenden als auch lichthärtenden Initiatoren. Jedes System hat seine Vorteile und Indikationen. [83]

	Vorteile	Nachteile
SC	<ul style="list-style-type: none"> kein Polymerisationslicht erforderlich geeignet in Situationen, bei denen die Belichtung nicht sichergestellt werden kann 	<ul style="list-style-type: none"> begrenzte Verarbeitungszeit Verfärbungsneigung der meisten chemischen Initiatoren
LC	<ul style="list-style-type: none"> der Zahnarzt entscheidet, wann die Aushärtung beginnt; mehr Zeit für das Eingliedern der Restauration (Verarbeitungszeit) keine chemischen Initiatoren mit Neigung zu Verfärbungen Überschussentfernung kann durch kurze Lichtimpulse gesteuert werden 	<ul style="list-style-type: none"> Polymerisationslicht muss das Composite erreichen nicht geeignet für opake und dicke Restaurationen
DC	<ul style="list-style-type: none"> ausreichende Polymerisation in Situationen, in denen eine ausreichende Belichtung nicht gewährleistet ist Überschussentfernung kann durch kurze Lichtimpulse gesteuert werden 	<ul style="list-style-type: none"> Polymerisationslicht sollte das Composite erreichen chemischer Initiator könnte zu Verfärbungen neigen

Tabelle 3: Vorteile und Nachteile verschiedener Befestigungskomposite

2.10.2 Einfluss des Befestigungsmaterials auf die Farbreproduktion

Adhäsive Befestigungssysteme sollen laut Hersteller nicht nur die mechanischen Eigenschaften der keramischen Restaurationen verbessern, sondern, wenn notwendig auch die Stumpffarbe maskieren und das endgültige Farbergebnis des Zahnersatzes modifizieren [89].

Das Befestigungsmaterial spielt allerdings bei der Farbgebung, im Vergleich zur Keramikstärke eine geringere Rolle. In-vitro-Untersuchungen haben gezeigt, dass an Vollkeramikronen (IPS Empress), mit einer Mindestkeramikstärke von 1mm und einer Zement-Schichtstärken von 0,1-0,2mm ein geringer, aber wahrnehmbaren Effekt

($\Delta E < 1$) entsteht. [90]. Weitere Studien haben ergeben, dass opake bzw. eingefärbte Befestigungskomposite verfärbte Stümpfe maskieren konnten und zu klinisch akzeptablen Farbdifferenzen ($\Delta E \leq 3,7$) führten [5].

Die Auswahl einer geeigneten Zahnfarbe stellt die Behandler immer vor eine Herausforderung. Nicht selten passiert es, dass trotz Zahnfarbbestimmung, die aus dem Labor gelieferte Restauration nicht mit den Nachbarzähnen harmonisiert. Um solche geringen Farbabweichungen zu korrigieren, stellen die eingefärbten Befestigungszemente eine preiswerte und ästhetisch hochwertige Alternative zur Neuanfertigung oder zum Korrekturbrand dar [7].

2.11 CAD/CAM-Technologie in der Zahnheilkunde

Der Begriff „CAD“ steht für „computer-aided design“ und bedeutet „computergestützte Konstruktion“, „CAM“ ist die Abkürzung für „computer-aided manufacturing“ und wird als „computergestützte Fertigung“ übersetzt [91]. Dabei wird im Computerprogramm ein digitales Modell der gewünschten Restauration erschaffen. Dieses Modell kann dann mit Hilfe von subtraktiven Fräs- und Schleiftechnologie aus vorgefertigten Keramikblöcken hergestellt werden [92]. Die ersten CAD/CAM-Technologien wurden 1970 eingeführt und unterliegen seitdem einer ständigen Weiterentwicklung. Drei Vorreiter auf diesem Gebiet waren Dr. François Duret, Prof. Dr. Werner H. Mörmann und Dr. Matts Andersson [93]. Die computergestützte Herstellung des Zahnersatzes hat gegenüber den konventionellen Techniken einige Vorteile aufzuweisen. Die Herstellung der Keramikrohlinge erfolgt industriell und unter kontrollierten Bedingungen. Dadurch wird eine homogene Materialstruktur mit optimalen mechanischen Eigenschaften erreicht [94]. Viele handwerklich -manuelle Arbeitsschritte werden durch vollautomatische Herstellungsschritte ersetzt. Dies ermöglicht eine Fertigung von qualitativ hochwertigem Zahnersatz rund um die Uhr und hat durch die Effizienzsteigerung eine positive Auswirkung auf die Preisentwicklung [95]. Die digitalen Datensätze werden gespeichert, was eine schnelle Neuanfertigung der Restauration möglich macht und eine platzeinnehmende Lagerung der Gipsmodelle ersetzt [96]. Die CAD/CAM-Technologie nimmt einen hohen Stellenwert im Dentallabor ein (Labside-Verfahren), wo die digitale Technologie mit der handwerklichen Kompetenz des Zahntechnikers kombiniert wird. Dabei wird klassisch aus dem vom Zahnarzt gelieferten Informationen, physikalisch im Sinne einer Abformung oder digital in Form eines Datensatz, des Gebisses ein Modell

hergestellt oder virtuell designt. Im Anschluss an die Digitalisierung wird mit einer CAD/CAM Software die Restauration erstellt und für die Fertigung freigegeben. Der Zahntechniker übernimmt weiterhin die finale Gestaltung der Restauration, sowie die Beurteilung der Qualität des Endproduktes.

Die CAD/CAM Technologie fand zuerst ihren Einsatz in der Praxis (Chairside-Verfahren: am Zahnarztstuhl). Die Abformung des präparierten Stumpfes erfolgt dabei digital. Der Behandler entscheidet sich je nach Ausgangssituation und gewünschtem Farbergebnis für ein Keramiksystem. Nachdem modellieren der Restauration im entsprechenden Programm (CAD), kann die Konstruktion in der Fräseinheit (z.B. CEREC MC X) aus einem keramischen Monoblock gefräst werden (CAM). Der große Vorteil des Chairside-Verfahrens ist es, in einer Sitzung den Patienten mit Zahnersatz zu versorgen. Die klassische Indikation für die Chairside-Technik ist die Herstellung von Inlays, Onlays, Veneers und Einzelzahnkronen [71,97,98].

3 Material

Keramikmaterial, Oberflächenstruktur, Farbe des Befestigungsmaterials und die Stumpffarbe sind wichtige Einflussfaktoren für das Farbergebnis einer Vollkeramik-Restauration.

Ziel dieser Untersuchung ist es anhand der Vollkeramik-Systeme VITA Real Life, IPS Empress CAD und VITA Mark II und dem Variolink Veneer Befestigungssystem (Ivoclar Vivadent Dentaltechnik, Schaan Liechtenstein, Deutschland) Größe und Stärke einzelner Faktoren zu analysieren und in einen realistischen klinischen Kontext zu setzen. Die daraus resultierende Systematik, soll helfen das Farbresultat der späteren Keramischen Restauration anhand vorgegebener Situationen vorhersagbar zu machen.

3.1 Keramiken

3.1.1 VITA Real Life – VITA Zahnfabrik, Bad Säckingen Deutschland

Die VITABLOCS Real Life werden aus Feinstruktur-Feldspatkeramik hergestellt. Es ist die Weiterentwicklung der VITA Mark II Keramik zur Herstellung von Frontzahnkronen, Inlays, Onlays und Veneers mittels CAD/CAM Systeme.

Oxide	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	CaO	TiO ₂
Anteil in Gew. %	56 – 64	20 – 23	6 – 9	6 – 8	0,3 – 0,6	0,0 – 0,1

Tabelle 4: Chemische Zusammensetzung der VITA Real Life und VITA Mark II Keramik [99]

Die Blöcke besitzen eine dreidimensionale Blockstruktur mit Dentinkern und Schmelzhülle. Entsprechend dem natürlichen Zahnaufbau imitiert diese den bogenförmigen Farbverlauf zwischen Dentin und Schneide. Je nach Restzahnschubstanz können die Real Life-Restaurationen mehr Hals- oder Schneideanteile enthalten. [99]

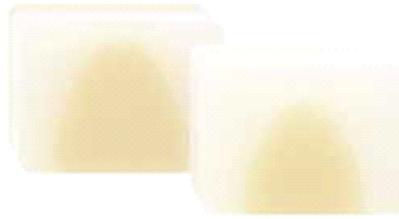


Abbildung 12: VITABLOCS Real Life

Entsprechend der Positionierung der Restauration im Block können unterschiedliche Farbergebnisse erzielt werden. Für diese Studie wurden 15 Kronen aus drei verschiedenen Blockpositionierungen hergestellt. (Block 2M1C RL-14/14)

Es wurde die Positionierung mit Schmelzüberdeckung von 75%=VITA Real Life 1 (5 Kronen), 50%= VITA Real Life 2 (5 Kronen) und 25%= VITA Real Life 3 (5 Kronen) gewählt.

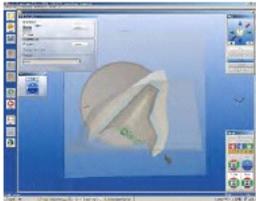
Screenshot Positionierung	Ergebnis geschliffene Krone	Farbliche Auswirkung	Chroma
 <p>Schmelzüberdeckung 75%</p>		<p>Krone mit natürlich wirkendem Verlauf von Schmelz und Dentin. Entspricht dem original VITA SYSTEM 3D-MASTER Farbmusterzahn 2M2.</p>	
 <p>Schmelzüberdeckung 50%</p>		<p>Krone wirkt natürlich aber insgesamt chromatischer als bei einer Schmelzüberdeckung von 75%, da der Dentinkern im Körperbereich dominanter ist.</p>	
 <p>Schmelzüberdeckung 25%</p>		<p>Krone mit stark chromatischer Farbwirkung, da der Schmelzanteil im Körperbereich fehlt.</p>	

Abbildung 13: Darstellung der unterschiedlichen Positionierung (Schmelzbedeckung) von VITA Real Life Blöcken [99]

3.1.2 IPS Empress CAD – Ivoclar Vivadent Dentaltechnik, Schaan Liechtenstein

IPS Empress ist eine Glaskeramik aus Siliziumoxid, Aluminiumoxid und Kaliumoxid mit Leuzit als Kristallbildner. Diese Keramik gilt als der Urvater vieler Presskeramiken, die heute am Markt sind [100].

Bei den IPS Empress CAD Rohlingen handelt es sich um eine Leuzit-Glaskeramik. Diese besteht aus einer Glasmatrix und Leuzitkristallen. Dieses Verfahren führt zu hoher Festigkeit des entstandenen Werkstoffes [101].

Oxide	SiO ₂	Al ₂ O ₃	K ₂ O	Na ₂ O	AndereOxide
Anteil in Gew.%	60.0 – 65.0	16.0 – 20.0	10.0 – 14.0	3.5 – 6.5	0.5 – 7.0

Tabelle 5: Chemische Zusammensetzung IPS Empress CAD [101]

Die IPS Empress Keramik ist sehr homogen, dies sorgt für natürliche Lichtstreuung. IPS Empress® CAD wird in zwei Transluzenzstufen HT (High Translucency) sowie LT (Low Translucency) hergestellt [102].

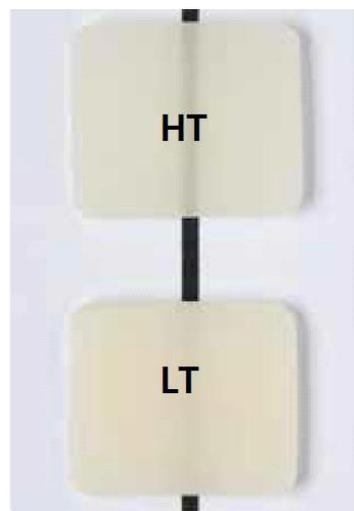


Abbildung 14: High Translucency und Low Translucency von IPS Empress CAD Keramik [101]

In der vorliegenden Untersuchung wurden die IPS Empress® LT-Blöcke in der Farbe A3 für die Herstellung von 15 Kronen verwendet. Durch ihren hohen Helligkeitswert sind die LT Blocks zur Herstellung von größeren Restauration (z.B. Front- und Seitenzahnkronen) indiziert. [102]



Abbildung 15: IPS Empress CAD LT-Blöcke [102]

3.1.3 VITA Mark II – Vita Zahnfarbik, Bad Säckingen, Deutschland

Für diese Studie wurden 15 Kronen aus VITA Mark II (2M1C 110) Blöcken hergestellt. Die VITA Mark II Keramik ist eine aluminiumoxid-angereicherte Feinstpartikelfeldspatkeramik (siehe Tabelle VITA Real Life). Einzelne Bestandteile der VITA Mark II sind sehr fein (ca. 4µm). Dadurch kann eine sehr homogene Struktur, hohe Transluzenz und gute farbliche Anpassung an die Nachbarzähne erreicht werden. Der kristalline Anteil liegt bei unter 20%. Dadurch verfügt die VITA Mark II Keramik über eine gute Polierbarkeit und schmelzähnliche Abrasionseigenschaft [103].



Abbildung 16: VITA Mark II Keramikblock

3.2 IPS Natural Die Material – Ivoclar Vivadent Dentaltechnik, Schaan Liechtenstein, Deutschland

Um verschiedenfarbige Stümpfe herzustellen, wurde das IPS Natural Die Material der Firma Ivoclar Vivadent verwendet. Dieses lichthärtende Material eignet sich, um die unterschiedlichen Farben der präparierten Stümpfe zu simulieren [104]. Es wurden

Kunststoffstümpfe in den Farben ND1, ND2, ND5, ND6 und ND9 hergestellt und bei der Farbmessung verwendet.

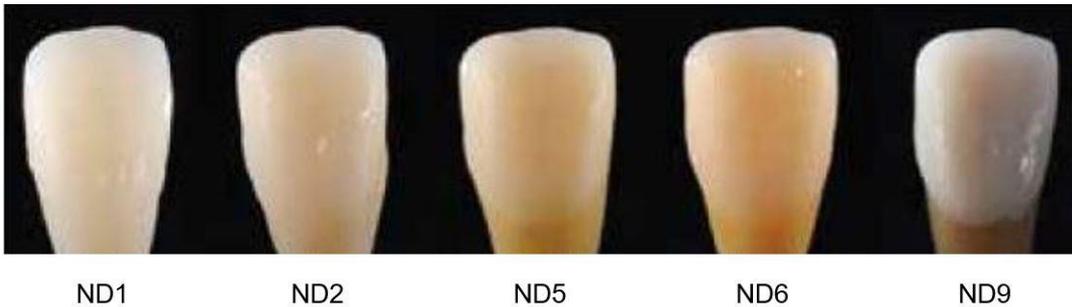


Abbildung 17: Einfluss der Stumpffarbe auf die Farbe der Keramikrestauration [136]

3.2.1 Anfertigung der Farbstümpfe

Für die Vorliegende Studie wurden für die Herstellung der Stümpfe die Farben ND1, ND2, ND5, ND6 und ND9 verwendet. Um ein Verbinden des Materials mit der Krone zu vermeiden, wurde die Innenseite einer Keramikkrone dünn mit Natural Die Separator dünn bestrichen. (a) Innenbereich der Krone wurde mit IPS® Natural Die Material der gewünschten Farbe aufgefüllt. (b) In das ungehärtete Stumpfmaterial wurde mittig ein Applikationstreck eingesetzt. (c) Nach dem Auffüllen der restlichen Hohlräume und Entfernung des überschüssigen Materials wurde das Stumpfmaterial mit einem Lichtpolymerisationsgerät mind. 90 Sek. Lang ausgehärtet.



Abbildung 18: Herstellung von Kunststoffstümpfen [137]

3.3 Variolink® Veneer – Ivoclar Vivadent Dentaltechnik, Schaan Liechtenstein, Deutschland

Variolink® Veneer der Firma Ivoclar Vivadent ist ein adhäsives, lichthärtendes Befestigungsmaterial zum Eingliedern von vollkeramischen Zahnersatz. Das Variolink® Veneer wird in 7 Farben bzw. Transluzenzen angeboten. Vom *High Value* +3, das eine weiß opake Bleachfarbe ist, geht es über dem hoch transparenten *Medium Value* 0 zum *Low Value* -3 mit seiner warmen gelb-roten Einfärbung.

[105]

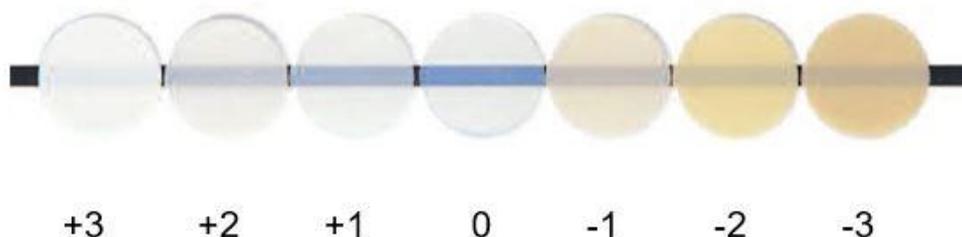


Abbildung 19: Variolink Veneer Transluzenzstufen

Für diese Studie wurden zur Simulation der Wirkung verschiedener Einsatzmaterialien die Try-In Pasten von High Value +1, +2, +3 und Low Value -1, -2, -3 verwendet. Die Try-in Pasten liegen analog der Variolink Veneer Farben der Befestigungskomposite vor. Bezüglich der Transparenz und Farbe entsprechen diese, dem voll auspolymerisierten Befestigungskomposite Variolink Veneer. Der Vorteil der Try-in Pasten liegt in der rückstandslosen Entfernung von den Keramikrestaurationen und den Kunststoffstümpfen aufgrund ihrer guten Wasserlöslichkeit.

3.4 Repositionierungshilfe

Bei allen Messungen wurde eine Positionierungshilfe in Form von Kunststoffschiene verwendet. Die Schiene wurde aus 0,8 mm dicker Folie (Erkoflex, Erkodent Erich Kopp GmbH, Pfalzgrafenweiler, Deutschland) im Tiefziehverfahren hergestellt.



Abbildung 20: Kunststoffschiene als Positionierungshilfe

3.5 Abmusterungskammer

Alle Messungen erfolgten in einer Abmusterungskammer (Macbeth Judge II x-rite, X-Rite Inc. Granville, USA). Als Ausleuchtung wurde Tageslichtbeleuchtung vom Standard D65 gewählt.

3.6 VITA Easyshade Advance 4.0

Bei der vorliegenden Studie kam das digitale Farbbestimmungssystem VITA Easyshade Advance 4.0 aus dem Hause VITA (VITA Zahnfabrik, Bad Säckingen, Deutschland) zum Einsatz. Es ist ein Spektralphotometer, der in die Kategorie der Punktmessgeräte eingeordnet werden kann. Die Messspitze, mit einer Größe von 5mm, wird beim Messen direkt auf die Zahnfläche aufgesetzt. In der Spitze des Handstücks sind eine fiberoptische Sonde und drei Spektralphotometer integriert, die zur Belichtung des Messobjektes und zur Messung der Zahnfarbe dienen. Der Datentransfer zwischen dem Handstück und der Basiseinheit erfolgt über eine Micro-USB-Schnittstelle. In der Basiseinheit ist ein abnehmbarer Kalibrierungsblock integriert. Für die Messung wird die Spitze der Messsonde an den entsprechenden Zahnbereich angelegt und der Auslöser betätigt. Die in der Messsonde integrierten Winkel- und Bewegungssensoren prüfen, ob beim Messen die Positionierung im rechten Winkel zur Messfläche eingehalten wird. Die Geometrie der Sonde entspricht einer „0°/0° kreisförmigen Konstruktion“, dies bedeutet, dass Quell- und Empfangslichtleiter parallel ausgerichtet aber räumlich getrennt sind.

Zur Farbmessung stehen vier Betriebsmodi zur Verfügung: Grundfarbenmessung, Mittelungsmessung, Zahnbereichsmessung und Messung an keramischen Restaurationen.



Abbildung 21: Displayanzeige von VITA Easyshade® Advance 4.0

Je nach Betriebsart wird eine andere Durchdringung des Lichtes im Medium erreicht. Bei der Messung an natürlichen Zähnen liegt die Messtiefe bei ca. 3mm. Bei Keramischen Restaurationen wird bei ca. 1,5mm gemessen [52]. Das Messgerät VITA Easyshade Advance 4.0 ist für die Messung von Dentalmaterialien mit einer Mindeststärke von 0,7mm ausgelegt [106].

4 Methode

4.1 Referenzstumpf und keramische Restaurationen

Zur Durchführung dieser Studie wurde zunächst ein Frasacozahn 11 (Frasaco GmbH, Tettngang, Deutschland) entsprechend der Richtlinien für eine vollanatomische monolithische Keramikkrone präpariert. Bei diesem Referenzstumpf wurde eine ausgeprägte Hohlkehle zirkulär angelegt. Präparationstiefe betrug 0,8mm. Okklusal wurde der Zahnstumpf um 2mm reduziert. Konvergenzwinkel von 6° wurde eingehalten. Dieser „Urstumpf“ wurde anschließend mit Hilfe des Cerec inEOS blue Scanner (Sirona GmbH, Bensheim, Deutschland) optisch erfasst und in ein digitales Modell mit der Cerec Software (Version 4.0) (Sirona GmbH, Bensheim, Deutschland) erstellt.

4.2 Herstellung der Kronen

Die keramische Kronen-Restauration wurde mit Hilfe der Biogenerik-Datenbank designt. Die Keramikstärke im vestibulären Kronenbereich wurde auf 1,5mm festgelegt. Der Zementspalt wurde mit 0,1mm geplant. Das Ausschleifen der Keramikrestauration erfolgte mit der Cerec MC XL Schleifeinheit (Sirona GmbH, Bensheim, Deutschland). Hierfür wurden die Keramikblöcke in der Schleifeinheit positioniert und entsprechend den Herstellerangaben im normalen Schleifgeschwindigkeitsmodus ausgeschliffen. Insgesamt wurden jeweils 15 Restaurationen aus den Keramiken VITA Real Life, VITA Mark II und IPS Empress CAD hergestellt. An jeder Restauration wurde der Abstichzapfen entfernt und Rauspitzen geglättet. Die Passgenauigkeit auf dem Referenzstumpf wurde überprüft.

Im Anschluss wurde eine Abformung des Frasaco Modells (Frasaco GmbH, Tettngang, Deutschland) mit der eingesetzten Krone mit Alginat (Alginat Hydrogum 5, Zhermack GmbH, Marl am Dümmer, Deutschland) genommen und ein Situationsmodell aus Hartgips (HS-Hartgips, Henry Schein Dental GmbH, Langen, Deutschland) hergestellt. Eine Tiefziehfolie, (Erkoflex, 0,80mm, Erkodent Erich Kopp GmbH, Pfalzgrafenweiler, Deutschland) wurde entsprechend der Herstellerangaben für die Herstellung einer Tiefziehschiene verwendet. Auf der Labialfläche des 11 wurde im mittleren Kronendrittel zentral eine kreisförmige Öffnung mit einem Durchmesser von 5,0mm gestanzt. Die Öffnung entspricht der Größe des Messkopfs des verwendeten Spektrophotometers.

4.3 Messung vor der Politur (rau)

Zuerst erfolgte die Messung der Kronen mit unbearbeiteter Oberfläche. Alle keramischen Restaurationen wurden mit der Try-in Paste beschickt und auf dem Hauptstumpf platziert. Es wurde besonders darauf geachtet, dass an den Rändern überschüssiges Material austrat und keine Luftpockets zu sehen waren. Das überschüssige Try-in Material wurde entfernt. Jede Keramikkrone wurde mit jeder Farbe des Befestigungsmaterials 10mal gemessen. Für die Messung mit dem Hauptstumpf ergibt das einen Gesamtumfang von $N=2700$ Messungen.

Nach dem Durchführen der Messungen wurden die Kronen mit Wasser von den Resten der Try-in Paste gereinigt. Alle 15 Kronen der VITA Real Life Keramik und jeweils 5 Kronen der IPS Empress CAD und VITA Mark II Keramiken wurden zusätzlich Farbbestimmungen mit allen Try-in Farben und den Stumpffarben ND1, ND2, ND5, ND6 und ND9 durchgeführt. Pro Krone erfolgten 10 Messwiederholungen. Das ergab einen Gesamtumfang von $N=7500$ Messungen.

4.4 Messung nach der Politur (poliert)

Nach dem Reinigen der Kronen erfolgte eine Politur der Oberfläche. Dafür wurde nach dem klassischen dreistufigem Polierprotokoll mit dem Keramikpolitur-Set (Komet Dental, Gebr. Brasseler GmbH & Co. KG, Lemgo, Deutschland) die Oberfläche der Kronen bearbeitet.



Abbildung 22: Keramikpolierer der Firma Komet Dental

Zum Polieren wurde ein Handstück, ohne Kühlung mit einer Umdrehung von 6000U/min verwendet. Mit dem Vorpolierer blau, Feinpolierer rot und Hochglanzpolierer grau wurden ca. 1Minute pro Polierer, pro Krone, kreisförmige Polierbewegungen durchgeführt, bis die ganze Fläche gleichmäßigen Glanz bekam. Nach dem Polieren von drei Kronen wurden die Polierer ausgetauscht.

Nach dem Polieren wurden alle 15 Kronen der VITA Real Life Keramik und jeweils 5 Kronen der IPS Empress CAD und VITA Mark II Keramiken mit jeder Kombination der sechs Try-in Farben und den Stumpffarben ND1, ND2, ND5, ND6 und ND9, sowie dem Hauptstumpf gemessen. Es wurde 10mal pro Farbbestimmung gemessen. Das ergab einen Gesamtumfang von N=9000 Messungen.

4.5 Messung nach dem Glanzbrand (glazed)

Die Glasur der VITA Real Life und VITA Mark II Kronen erfolgte mit dem VITA Akzent Plus Glaze Spray (VITA Zahnfabrik, Bad Säckingen, Deutschland). Die Spraydose wurde zuerst 20sek. kräftig geschüttelt und das Spray dann gleichmäßig im Abstand von 10-15cm auf die Restauration appliziert. Der Glanzbrand erfolgte streng nach Herstellerangaben, auf einem Brennträger, im Keramikofen VITA Vacumat 6000M (VITA Zahnfabrik, Bad Säckingen, Deutschland). Für den Glasurbrand der IPS Empress CAD Restaurationen wurde das Glaze Spray IPS e.max CAD Crystall (Ivoclar Vivadent Dentaltechnik, Schaan Liechtenstein, Deutschland) benutzt.

Die Fertigestellten Keramikrestaurationen wurden abschließend auf Defekte oder Inhomogenitäten überprüft und die Keramikstärke wurde mit Hilfe eines Tasterzirkels kontrolliert. Restaurationen, die nicht den Anforderungen für diese Untersuchung entsprachen wurden aussortiert und neu hergestellt.

Nach dem Reinigen der Kronen erfolgte erneut die Messung mit dem VITA Easyshade® Advance 4.0. Es wurden Die Kronen Der VITA Real Life1, 2 und 3, sowie jeweils fünf Kronen der IPS Empress CAD und VITA Mark II Keramik mit dem Hauptstumpf unter Verwendung aller Try-in Pasten mit 10 Messungen pro Farbbestimmung gescannt. Dies ergab N=1500 Messungen.

4.6 Spektralfotometrische Analyse

Die spektralfotometrische Farbbestimmung erfolgte mit dem Easyshade® Advance 4.0, in dem das Messgerät an der Perforation von der Positionierungsschiene angesetzt wurde. Vor jedem Messvorgang erfolgte die Kalibrierung des Gerätes. Dafür wurde der Messkopf auf die vorgesehene Kalibrierplatte der Farbe B1 gehalten und die Kalibrierung ausgelöst. Es wurde im Einzelzahnmodus gemessen. Messkopf und die Labialfläche der Krone bildeten dabei einen rechten Winkel. Die Farbbestimmung wurde pro Messerfassung zehnmal wiederholt, es erfolgten insgesamt drei Messdurchläufe. Vor dem Polieren, nach dem Polieren und nach dem Glanzbrand. Die Messdaten wurden entsprechend der Kombination aus Keramikart, Oberflächenzustand, Stumpffarbe und Zementfarbe kodiert. Die Farbangabe durch das VITA Easyshade Advance 4.0 in Kombination mit der ES Helper Software erfolgte im VITA classical A1–D4-System und im VITA System 3D Master. Zusätzlich wurden die Farbkoordinaten des CIE L*a*b*-Farbraums erfasst. Für jeden Messdurchgang konnte ein Messprotokoll erstellt werden.



Abbildung 23: VITA Easyshade® Advance 4.0 mit Handstück und Ladestation



Abbildung 24: Kalibrierung des VITA Easyshade® Advance 4.0

4.7 Statistische Auswertung

Die gemessenen Koordinaten CIE L*a*b* wurden in Excel übertragen und bearbeitet (Excel für Microsoft 365 Version 2009). Aus den zehn Messwiederholungen pro Farbbestimmung wurden die Mittelwerte berechnet. Um die Stärke der unterschiedlichen Einflussfaktoren zu bestimmen, wurde aus den Mittelwerten die Farbdifferenz ΔE berechnet. Als Referenz für die Stumpffarbe wurde der Hauptstumpf gewählt. Als Referenz für die Zementfarbe wurde +1 festgelegt.

Zur statistischen Auswertung der Messergebnisse wurde das Statistikprogramm SPSS (IBM SPSS Statistics Subscription for Microsoft Windows 2018, München Deutschland) genutzt, in Zusammenarbeit mit dem Institut für Medizinische Biometrie, Epidemiologie und Informatik (IMBEI, Mainz, Deutschland).

Als Nullhypothesen wurde folgendes angenommen:

- Die Oberflächentopografie verändern die Farbdifferenzen (ΔE^*) der getesteten Keramik, zwischen rau, poliert und glazed.
- Die Farbdifferenz (ΔE^*) zwischen dem Hauptstumpf und der anderen Stumpffarben nimmt zu, je dunkler die Stumpffarbe ist.
- Im Vergleich +1 Try-in Paste nimmt die Farbdifferenz (ΔE^*) zu, je opaker bzw. dunkler die Farbe der Try-in Paste ist.

Zur Berechnung der Farbdifferenz wurde die Formel $\Delta E = ((L1-L2)^2 + (a1-a2)^2 + (b1-b2)^2)^{0,5}$ benutzt. Bei $\Delta E=1$ war der Grenzwert für einen wahrnehmbaren

Farbunterschied festgelegt. $\Delta E \leq 3,7$ war der Grenzwert für einen klinisch akzeptabel Farbunterschied. Es erfolgte zwischen den Gruppen sowie innerhalb der Gruppen eine einfaktorielle Varianzanalyse, sowie eine Bonferroni Analyse. Zur Prüfung der statistischen Signifikanz wurde ein p-Wert = 0,05 festgelegt.

5 Ergebnisse

5.1 Farbdifferenz (ΔE^*) innerhalb der Mehrfachmessung

Zur Validierung der Messmethode und zur Bestimmung der Varianz innerhalb einer Keramik wurden Mittelwerte aus den Mehrfachmessung pro Krone und Keramik berechnet und die anhand der Formel für die Farbdifferenz (ΔE^*) die intrarater Reliabilität berechnet. Das Balkendiagramm (Abbildung 25) zeigt die entsprechende gemittelte Farbdifferenz (ΔE^*).

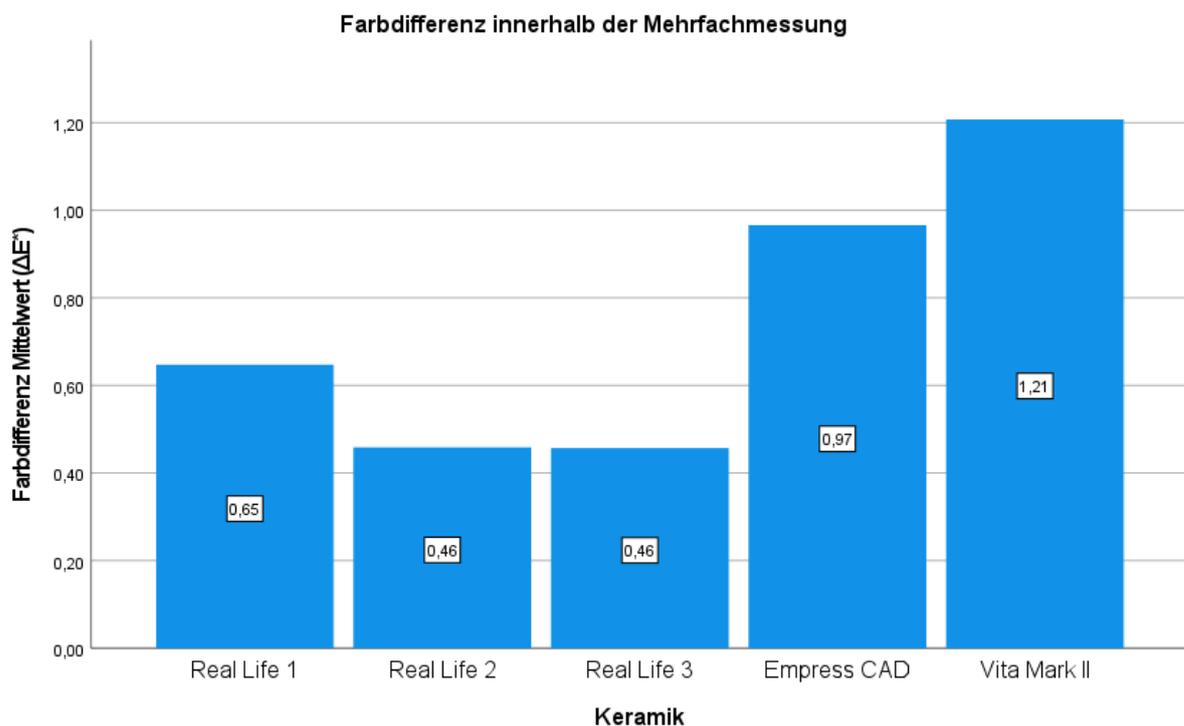


Abbildung 25: Farbdifferenz (ΔE^*) innerhalb der Mehrfachmessung

Innerhalb der Mehrfachmessungen zeigt sich ein Unterschied zwischen den Keramiken Real Life ($\Delta E = 0,46-65$) und Empress CAD sowie der VITA Mark II. Hierbei zeigt die VITA Mark II die größte Farbdifferenz von $\Delta E = 1,21$, diese liegt unterhalb des Grenzwertes für einen klinisch nicht akzeptablen Farbunterschied von $\Delta E > 3,7$. Innerhalb der anderen konnte keine Farbdifferenz $\Delta E > 1$ festgestellt werden. Die Mehrfachvergleiche der Bonferroni Analyse zeigen signifikante Unterschiede zwischen den Keramiken Real Life 2 und 3 im Vergleich zur Keramik VITA Mark II. ($p < 0,05$). Der Vergleich zwischen den Farbdifferenzen (ΔE^*) der anderen Keramiken ergab keinen statistisch signifikanten Unterschied ($p < 0,05$).

5.2 Einfluss der unterschiedlichen Oberflächenbeschaffenheiten

5.2.1 Farbdifferenzen (ΔE^*) der Keramiken zwischen rau und poliert

Die Abbildung 26 zeigt die gemittelten Farbdifferenz (ΔE^*) zwischen den Oberflächenbeschaffenheit rau und poliert für alle verwendeten Keramiken.

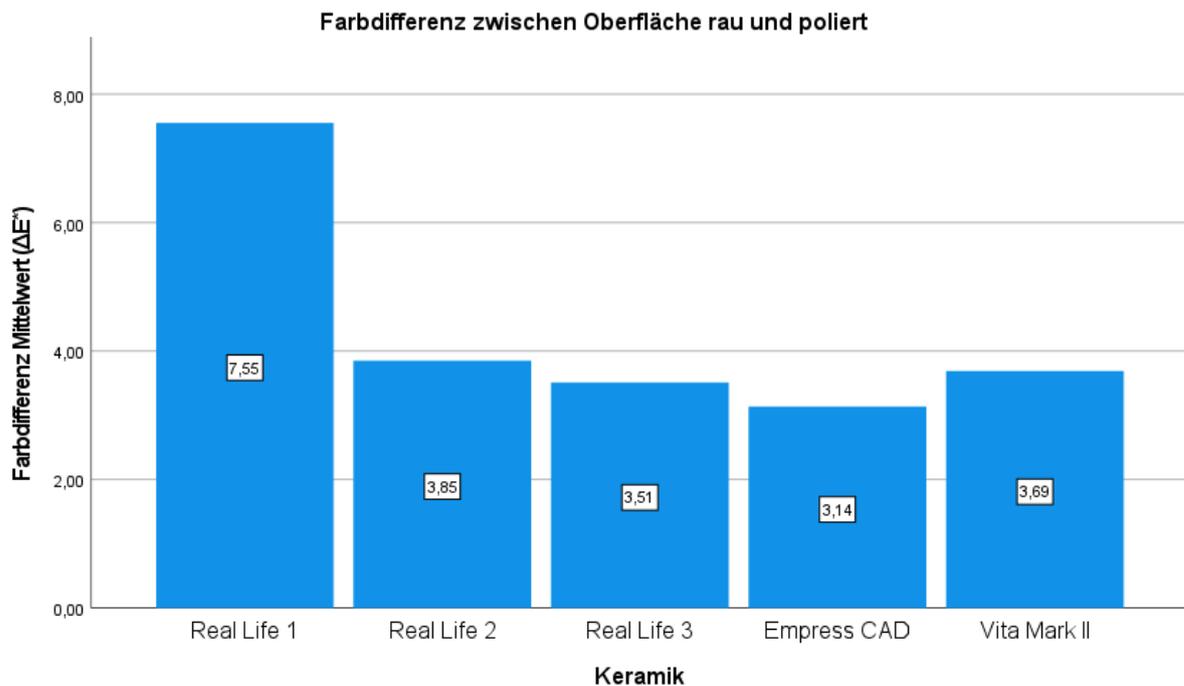


Abbildung 26: Farbdifferenz (ΔE^*) der Keramiken zwischen rau und poliert

Bei der Veränderung der Oberflächenbeschaffenheit von rau zu poliert ist eine stets wahrnehmbare Farbdifferenz ($\Delta E > 1$) für alle Keramiken entstanden.

Der Farbabstand zwischen den Oberflächenbeschaffenheit rau und poliert ist für die Keramik VITA Real Life 1 und 2, sowie für VITA Mark II klinisch nicht akzeptabel ($\Delta E > 3,7$). Für alle anderen Keramiken liegt die Farbdifferenz (ΔE^*) im akzeptablen Bereich ($\Delta E < 3,7$).

Die einfaktorielle Varianzanalyse zeigt, dass die Differenzen der Farbmessung statistisch signifikant sind ($p = 0,000$). Die Mehrfachvergleiche der Bonferroni Analyse zeigen signifikante Unterschiede der Keramik VITA Real Life 1 im Vergleich zu den restlichen Keramiken. ($p < 0,05$). Die restlichen Keramiken zeigen keine statistisch signifikanten Unterschiede. ($p > 0,05$).

5.2.2 Farbdifferenz (ΔE^*) der Keramiken zwischen rau und glazed.

Die Abbildung 27 zeigt die gemittelten Farbdifferenz (ΔE^*) zwischen den Oberflächenbeschaffenheit rau und glazed für alle verwendeten Keramiken.

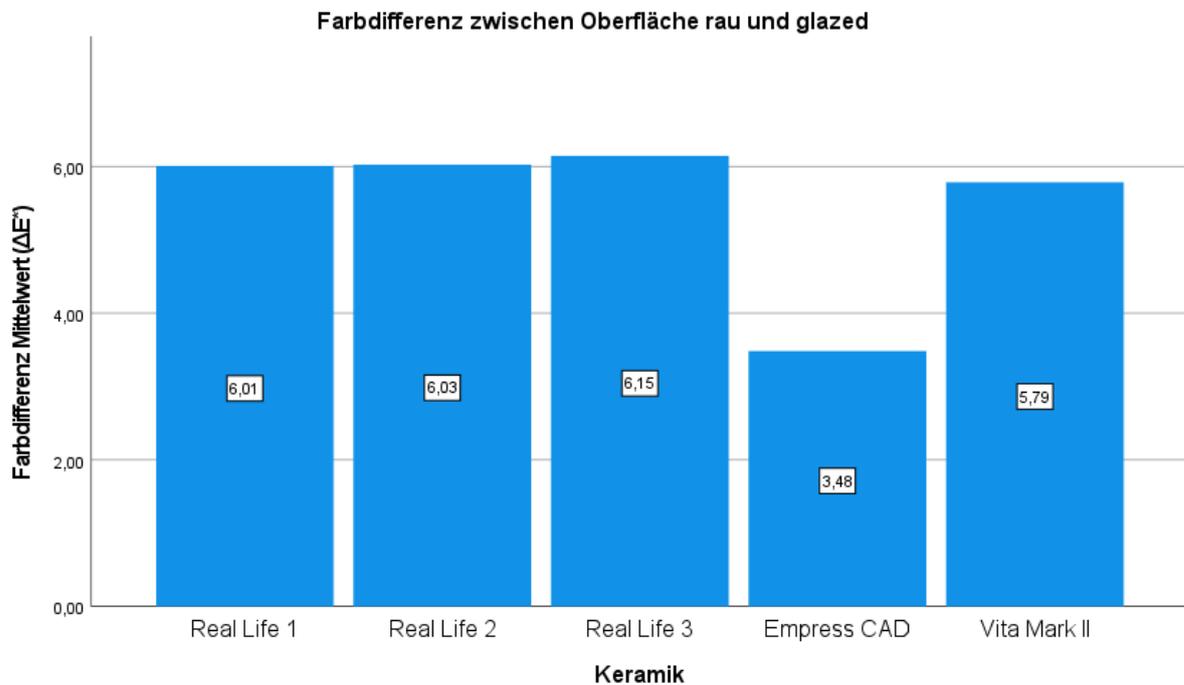


Abbildung 27: Farbdifferenz (ΔE^*) der Keramiken zwischen rau und glazed

Bei der Veränderung der Oberflächenbeschaffenheit von rau zu glazed ist eine stets wahrnehmbare Farbdifferenz ($\Delta E > 1$) für alle Keramiken entstanden.

Der Farbabstand zwischen den Oberflächenbeschaffenheit rau und glazed ist für die Keramik VITA Real Life 1, 2 und 3, sowie für VITA Mark II klinisch nicht akzeptabel ($\Delta E > 3,7$). Für die Keramik IPS Empress CAD liegt die Farbdifferenz (ΔE^*) im akzeptablen Bereich ($\Delta E < 3,7$).

Die einfaktorielle Varianzanalyse zeigt, dass die Differenzen der Farbmessung statistisch nicht signifikant sind ($p > 0,000$). Die Mehrfachvergleiche der Bonferroni Analyse zeigen keine signifikante Unterschiede zwischen den untersuchten Keramiken ($p > 0,05$).

5.2.3 Farbdifferenz (ΔE^*) der Keramiken zwischen poliert und glazed

Die Abbildung 28 zeigt die gemittelten Farbdifferenz (ΔE^*) zwischen den Oberflächenbeschaffenheit poliert und glazed für alle verwendeten Keramiken.

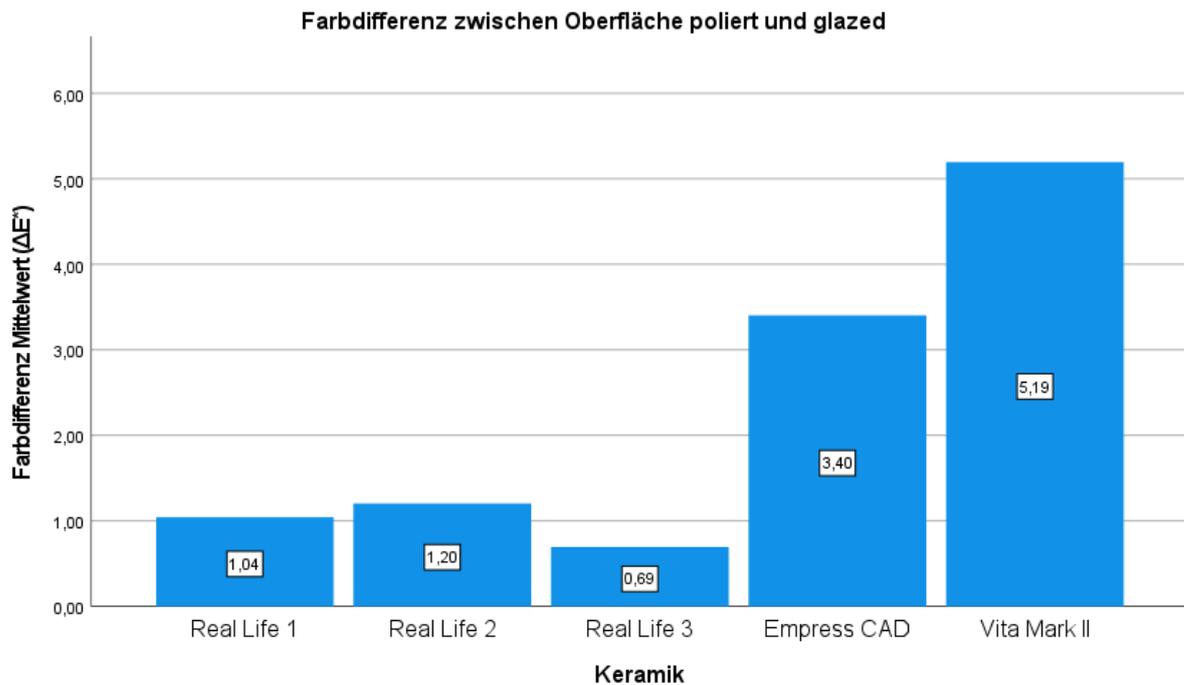


Abbildung 28: Farbdifferenz (ΔE^*) der Keramiken zwischen poliert und glazed

Bei der Veränderung der Oberflächenbeschaffenheit von poliert zu glazed ist sowohl wahrnehmbare als auch nicht wahrnehmbare Farbdifferenz ($\Delta E=0,69-5,19$) entstanden.

Der Farbabstand zwischen den Oberflächenbeschaffenheit poliert und glazed ist für die Keramik VITA Mark II klinisch nicht akzeptabel ($\Delta E>3,7$). Für die restlichen Keramiken liegt die Farbdifferenz (ΔE^*) im klinisch akzeptablen Bereich ($\Delta E<3,7$).

Die einfaktorielle Varianzanalyse zeigt, dass die Differenzen der Farbmessung statistisch signifikant sind ($p=0,000$). Die Mehrfachvergleiche der Bonferroni Analyse zeigen signifikante Unterschiede Beim Vergleich der Keramik VITA Mark II mit den Keramiken VITA Real Life 1, 2 und 3 ($p<0,05$).

5.3 Einfluss der Stumpffarbe

5.3.1 Einfluss der Stumpffarbe auf die Keramik VITA Real Life 1

Das Balkendiagramm in Abbildung (29), zeigt die gemittelten Farbdifferenzen (ΔE^*), gemessen mit der Keramik VITA Real Life 1, aufgeteilt nach der Stumpffarbe, die im Vergleich zum Hauptstumpf berechnet wurden.

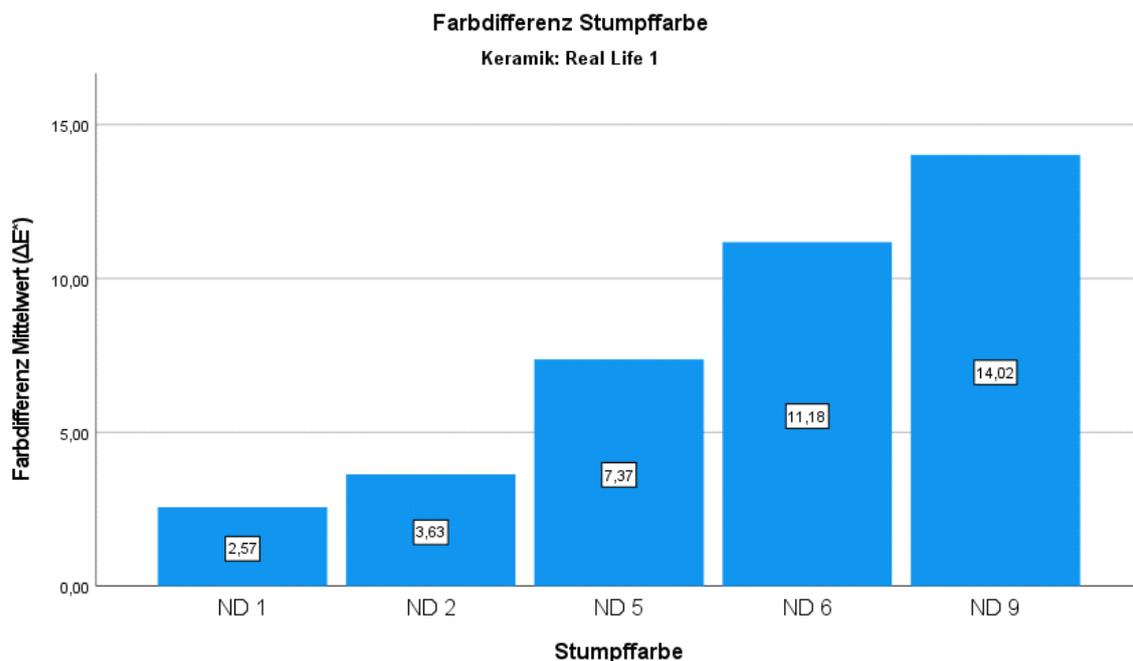


Abbildung 29: Einfluss der Stumpffarbe auf die Keramik VITA Real Life 1

Die Farbdifferenz (ΔE^*) nimmt mit Abnahme der Helligkeit der Stumpffarbe zu. Der Vergleich der Stumpffarbe zwischen dem Hauptstumpf und den Stümpfen ND1 und ND2 ergibt einen Farbunterschied, der mit $\Delta E > 1$ wahrnehmbar, aber klinisch akzeptabel ist ($\Delta E < 3,7$). Die Farbdifferenzen (ΔE^*) zwischen dem Hauptstumpf und den Stümpfen ND5, ND6 und ND9 sind mit $\Delta E > 3,7$ klinisch inakzeptabel.

5.3.2 Einfluss der Stumpffarbe auf die Keramik VITA Real Life 2

Das Balkendiagramm in Abbildung (30), zeigt die gemittelten Farbdifferenzen (ΔE^*), gemessen mit der Keramik VITA Real Life 2, aufgeteilt nach der Stumpffarbe, die im Vergleich zum Hauptstumpf berechnet wurden.

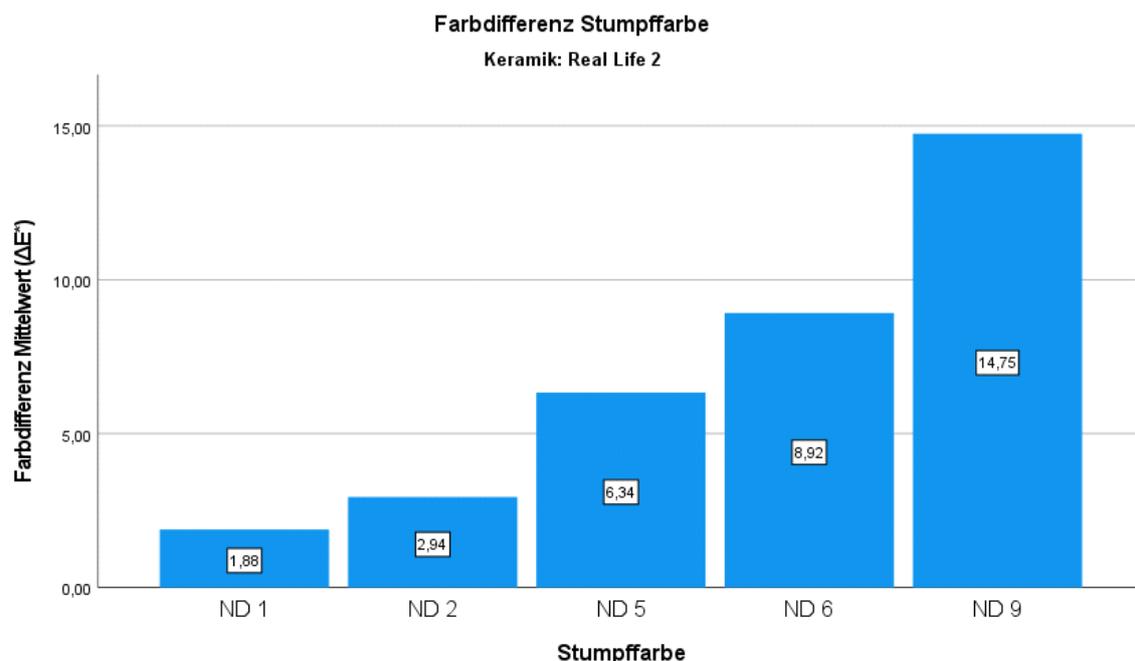


Abbildung 30: Einfluss der Stumpffarbe auf die Keramik VITA Real Life 2

Die Farbdifferenz (ΔE^*) nimmt mit Abnahme der Helligkeit der Stumpffarbe zu. Der Vergleich der Stumpffarbe zwischen dem Hauptstumpf und den Stümpfen ND1 und ND2 ergibt einen Farbunterschied, der mit $\Delta E > 1$ wahrnehmbar, aber klinisch akzeptabel ist ($\Delta E < 3,7$). Die Farbdifferenzen (ΔE^*) zwischen dem Hauptstumpf und den Stümpfen ND5, ND6 und ND9 sind mit $\Delta E > 3,7$ klinisch inakzeptabel.

5.3.3 Einfluss der Stumpffarbe auf die Keramik VITA Real Life 3

Das Balkendiagramm in Abbildung (31), zeigt die gemittelten Farbdifferenzen (ΔE^*), gemessen mit der Keramik VITA Real Life 3, aufgeteilt nach der Stumpffarbe, die im Vergleich zum Hauptstumpf berechnet wurden.

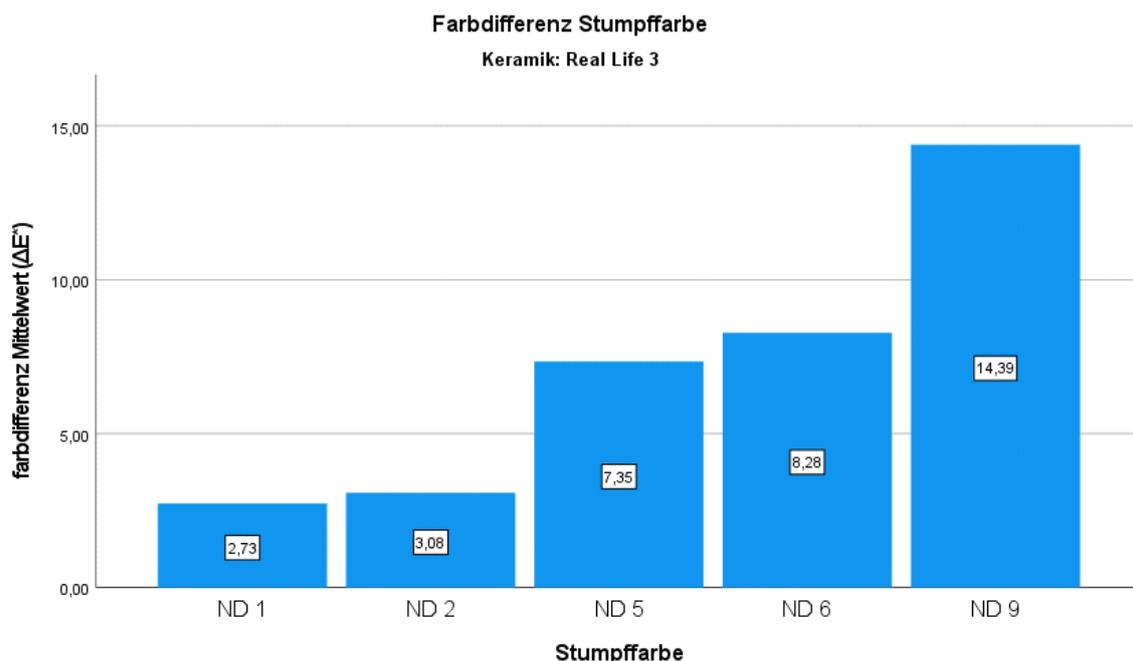


Abbildung 31: Einfluss der Stumpffarbe auf die Keramik VITA Real Life 3

Die Farbdifferenz (ΔE^*) nimmt mit Abnahme der Helligkeit der Stumpffarbe zu. Der Vergleich der Stumpffarbe zwischen dem Hauptstumpf und den Stümpfen ND1 und ND2 ergibt einen Farbunterschied, der mit $\Delta E > 1$ wahrnehmbar, aber klinisch akzeptabel ist ($\Delta E < 3,7$). Die Farbdifferenzen (ΔE^*) zwischen dem Hauptstumpf und den Stümpfen ND5, ND6 und ND9 sind mit $\Delta E > 3,7$ klinisch inakzeptabel.

5.3.4 Einfluss der Stumpffarbe auf die Keramik IPS Empress CAD

Das Balkendiagramm in Abbildung (32), zeigt die gemittelten Farbdifferenzen (ΔE^*), gemessen mit der Keramik IPS Empress CAD, aufgeteilt nach der Stumpffarbe, die im Vergleich zum Hauptstumpf berechnet wurden.

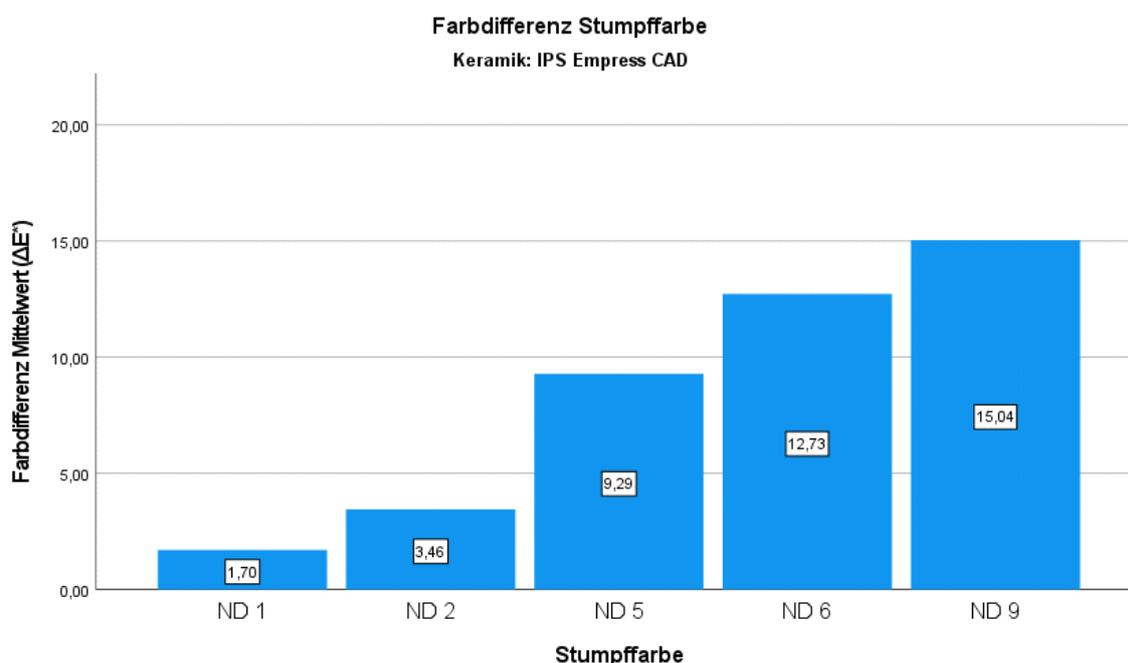


Abbildung 32: Einfluss der Stumpffarbe auf die Keramik IPS Empress CAD

Die Farbdifferenz (ΔE^*) nimmt mit Abnahme der Helligkeit der Stumpffarbe zu. Der Vergleich der Stumpffarbe zwischen dem Hauptstumpf und den Stümpfen ND1 und ND2 ergibt einen Farbunterschied, der mit $\Delta E > 1$ wahrnehmbar, aber klinisch akzeptabel ist ($\Delta E < 3,7$). Die Farbdifferenzen (ΔE^*) zwischen dem Hauptstumpf und den Stümpfen ND5, ND6 und ND9 sind mit $\Delta E > 3,7$ klinisch inakzeptabel.

5.3.5 Einfluss der Stumpffarbe auf die Keramik VITA Mark II

Das Balkendiagramm in Abbildung (33), zeigt die gemittelten Farbdifferenzen (ΔE^*), gemessen mit der Keramik VITA Mark II, aufgeteilt nach der Stumpffarbe, die im Vergleich zum Hauptstumpf berechnet wurden.

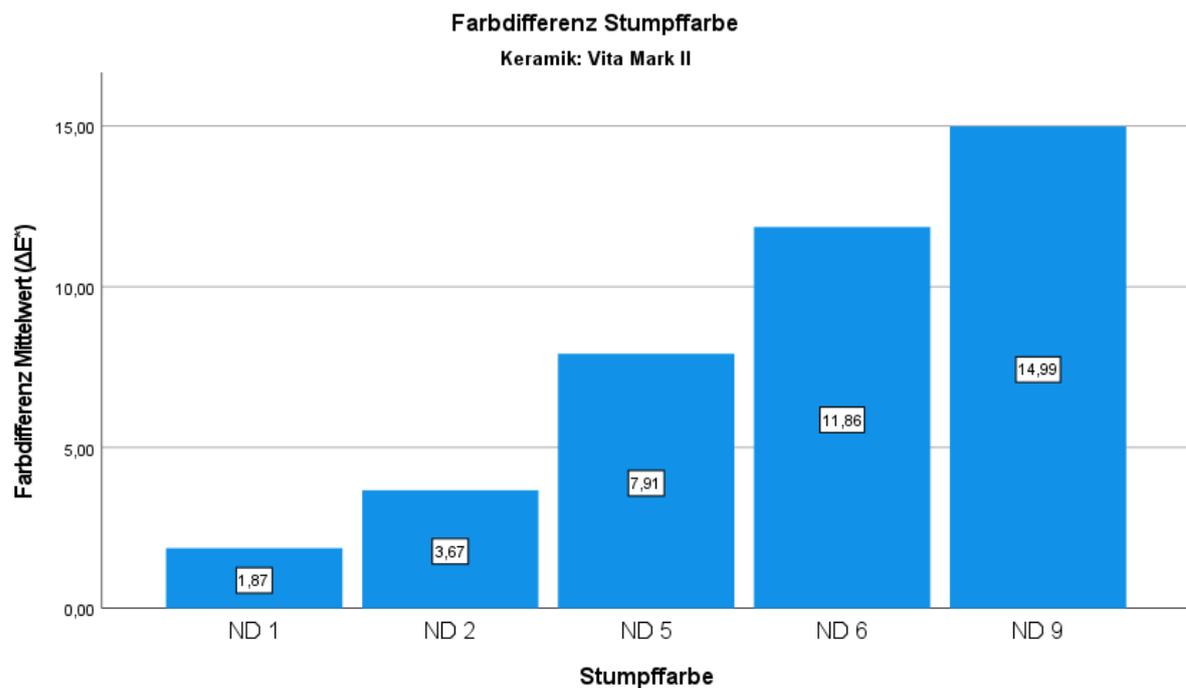


Abbildung 33: Einfluss der Stumpffarbe auf die Keramik VITA Mark II

Die Farbdifferenz (ΔE^*) nimmt mit Abnahme der Helligkeit der Stumpffarbe zu. Der Vergleich der Stumpffarbe zwischen dem Hauptstumpf und den Stümpfen ND1 und ND2 ergibt einen Farbunterschied, der mit $\Delta E > 1$ wahrnehmbar, aber klinisch akzeptabel ist ($\Delta E < 3,7$). Die Farbdifferenzen (ΔE^*) zwischen dem Hauptstumpf und den Stümpfen ND5, ND6 und ND9 sind mit $\Delta E > 3,7$ klinisch inakzeptabel.

5.4 Einfluss der Farbe des Befestigungsmaterials

5.4.1 Einfluss des Befestigungsmaterials auf die Keramik VITA Real Life 1

Die gemittelten Farbdifferenzen (ΔE^*) für die Keramik VITA Real Life 1, berechnet aus dem Vergleich der Try-in Paste +1 mit den Farben +3, +2, -1, -2 und -3, ist in Abbildung (34) anhand von Balkendiagramm dargestellt.

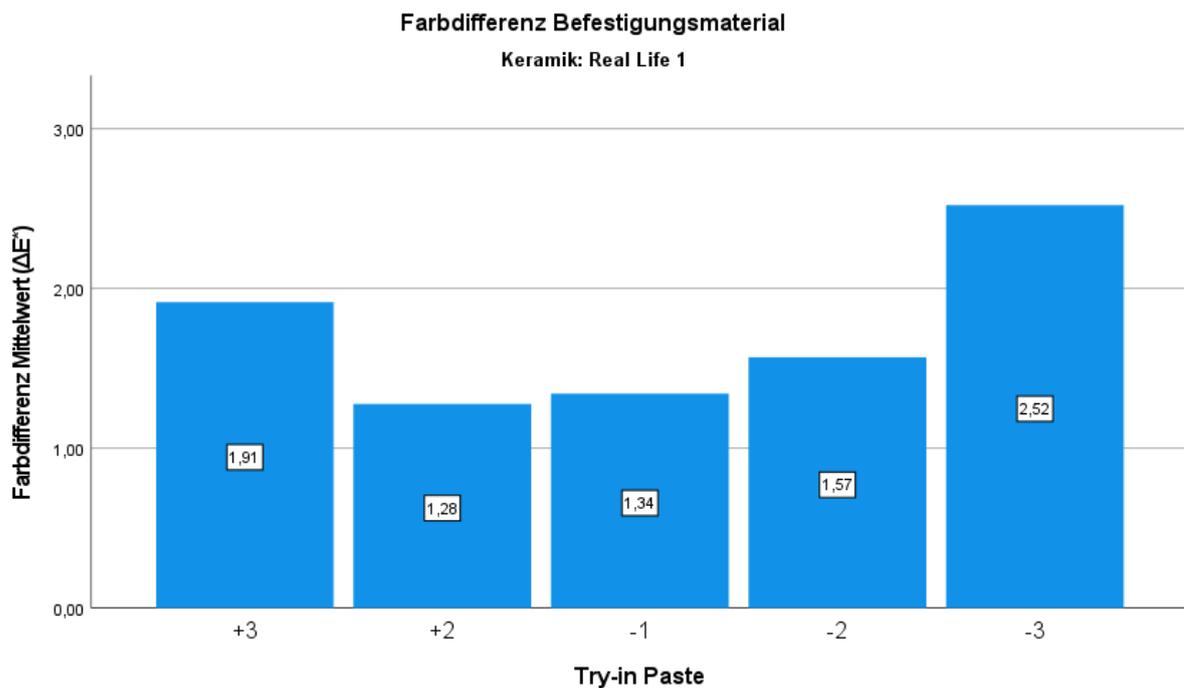


Abbildung 34: Einfluss der Try-in Paste auf die Keramik VITA Real Life 1

Der geringsten ΔE -Wert wurde beim Vergleich von Try-in Paste +2 und +1 ($\Delta E=1,28$) berechnet. Mit Zunahme der Opazität bzw. dem Anteil an Farbpigmenten nimmt auch die Farbdifferenz (ΔE^*) zu. Der Grenzwert für einen klinisch akzeptablen Farbunterschied ($\Delta E=3,7$) wird bei keiner Try-in Paste überschritten. Der Unterschied zwischen den Vergleichsgruppen ist statistisch nicht signifikant ($p>0,05$).

5.4.2 Einfluss des Befestigungsmaterials auf die Keramik VITA Real Life 2

Die gemittelten Farbdifferenzen (ΔE^*) für die Keramik VITA Real Life 2, berechnet aus dem Vergleich der Try-in Paste +1 mit den Farben +3, +2, -1, -2 und -3, ist in Abbildung (35) anhand von Balkendiagramm dargestellt.

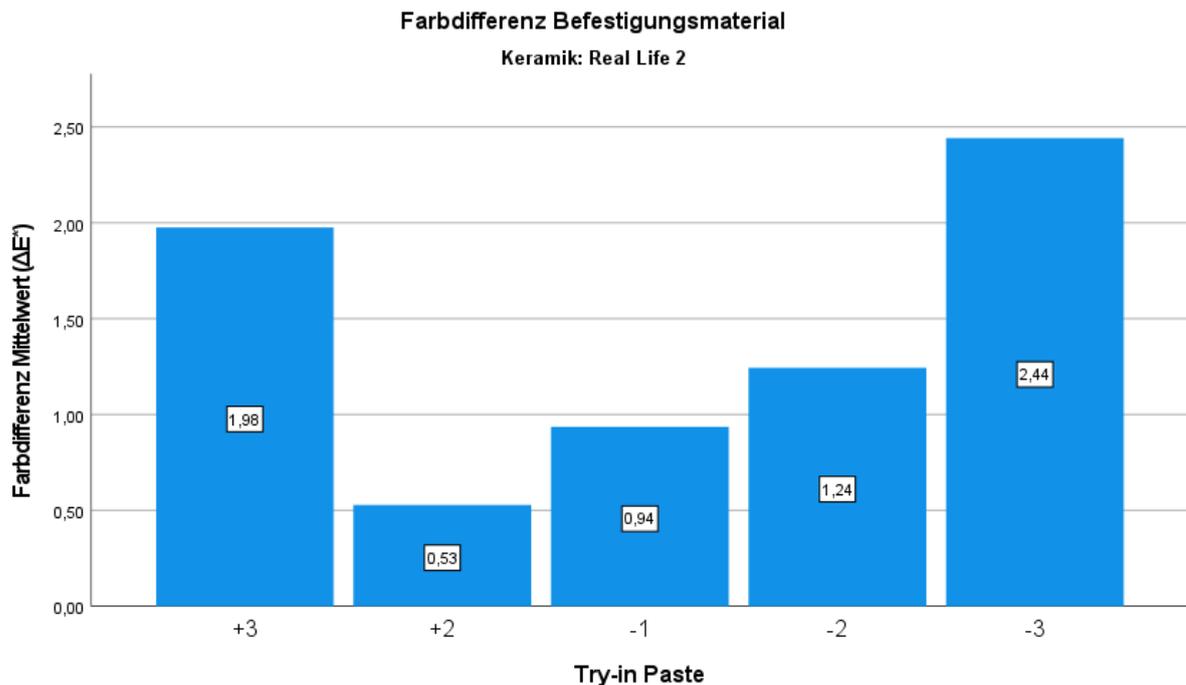


Abbildung 35: Einfluss der Try-in Paste auf die Keramik VITA Real Life 2

Der geringsten ΔE -Wert wurde beim Vergleich von Try-in Paste +2 und +1 ($\Delta E=0,53$) berechnet. Mit Zunahme der Opazität bzw. dem Anteil an Farbpigmenten nimmt auch die Farbdifferenz (ΔE^*) zu. Der Grenzwert für einen klinisch akzeptablen Farbunterschied ($\Delta E=3,7$) wird bei keiner Try-in Paste überschritten. Der Unterschied zwischen den Vergleichsgruppen ist statistisch nicht signifikant ($p>0,05$).

5.4.3 Einfluss des Befestigungsmaterials auf die Keramik VITA Real Life 3

Die gemittelten Farbdifferenzen (ΔE^*) für die Keramik VITA Real Life 3, berechnet aus dem Vergleich der Try-in Paste +1 mit den Farben +3, +2, -1, -2 und -3, ist in Abbildung (36) anhand von Balkendiagramm dargestellt.

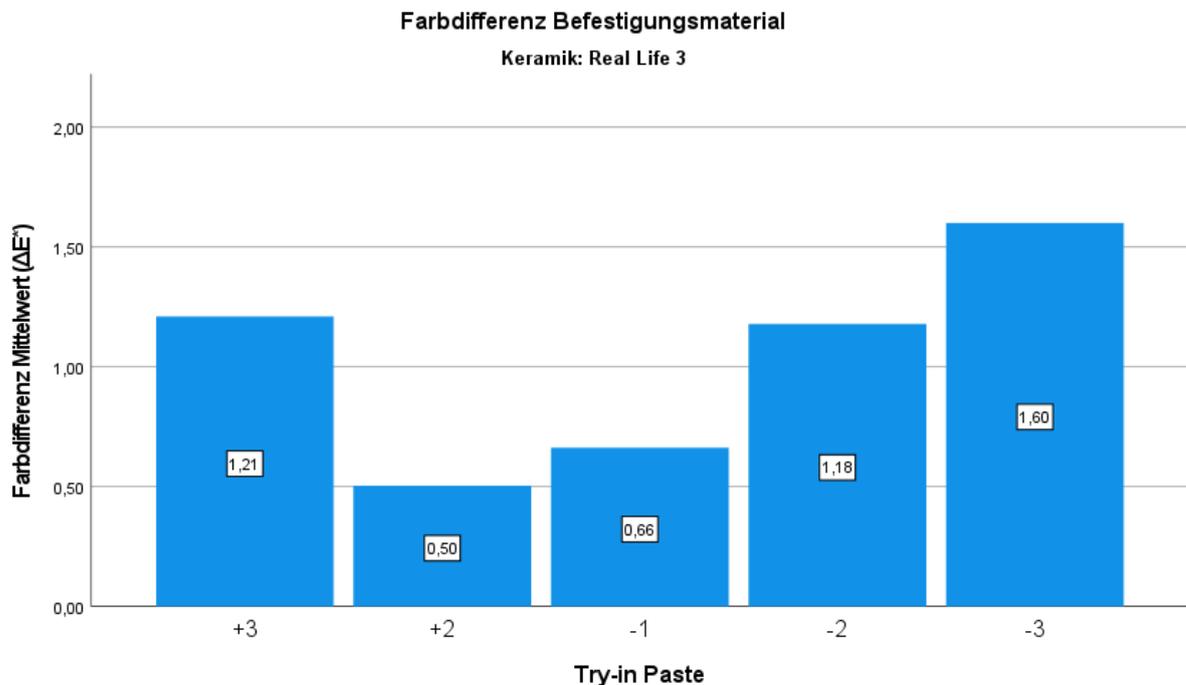


Abbildung 36: Einfluss der Try-in Paste auf die Keramik VITA Real Life 3

Der geringsten ΔE -Wert wurde beim Vergleich von Try-in Paste +2 und +1 ($\Delta E=0,50$) berechnet. Mit Zunahme der Opazität bzw. dem Anteil an Farbpigmenten nimmt auch die Farbdifferenz (ΔE^*) zu. Der Grenzwert für einen klinisch akzeptablen Farbunterschied ($\Delta E=3,7$) wird bei keiner Try-in Paste überschritten. Der Unterschied zwischen den Vergleichsgruppen ist statistisch nicht signifikant ($p>0,05$).

5.4.4 Einfluss des Befestigungsmaterials auf die Keramik IPS Empress CAD

Die gemittelten Farbdifferenzen (ΔE^*) für die Keramik IPS Empress CAD, berechnet aus dem Vergleich der Try-in Paste +1 mit den Farben +3, +2, -1, -2 und -3, ist in Abbildung (37) anhand von Balkendiagramm dargestellt.

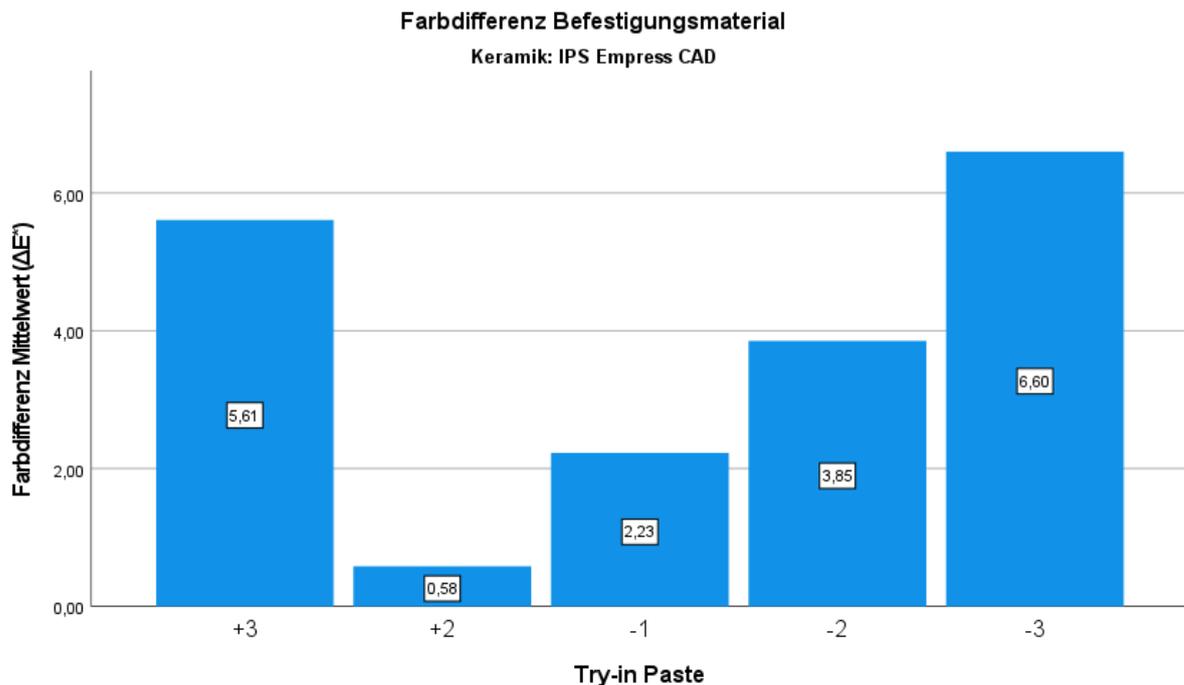


Abbildung 37: Einfluss der Try-in Paste auf die Keramik IPS Empress CAD

Der geringsten ΔE -Wert wurde beim Vergleich von Try-in Paste +2 und +1 ($\Delta E=0,58$) berechnet. Mit Zunahme der Opazität bzw. dem Anteil an Farbpigmenten nimmt auch die Farbdifferenz (ΔE^*) zu.

Der Vergleich der Try-in Paste +2 und -1 mit der Referenzfarbe +1 ergibt einen Farbumterschied, der mit $\Delta E < 3,7$ klinisch akzeptabel ist. Die Farbdifferenzen (ΔE^*) der Try-in Paste +3, -2 und -3 sind mit $\Delta E > 3,7$ klinisch inakzeptabel.

Der Unterschied zwischen den Gruppenvergleichen ist statistisch signifikant ($p \leq 0,05$). Ausnahme ist der ΔE -Wert zwischen Try-in Paste +2/-1, -2/+3, -2/-1 und -3/+3. Für diese Gruppen liegt keine statistische Signifikanz vor ($p > 0,05$).

5.4.5 Einfluss des Befestigungsmaterials auf die Keramik VITA Mark II

Die gemittelten Farbdifferenzen (ΔE^*) für die Keramik VITA Mark II, berechnet aus dem Vergleich der Try-in Paste +1 mit den Farben +3, +2, -1, -2 und -3, ist in Abbildung (38) anhand von Balkendiagramm dargestellt.

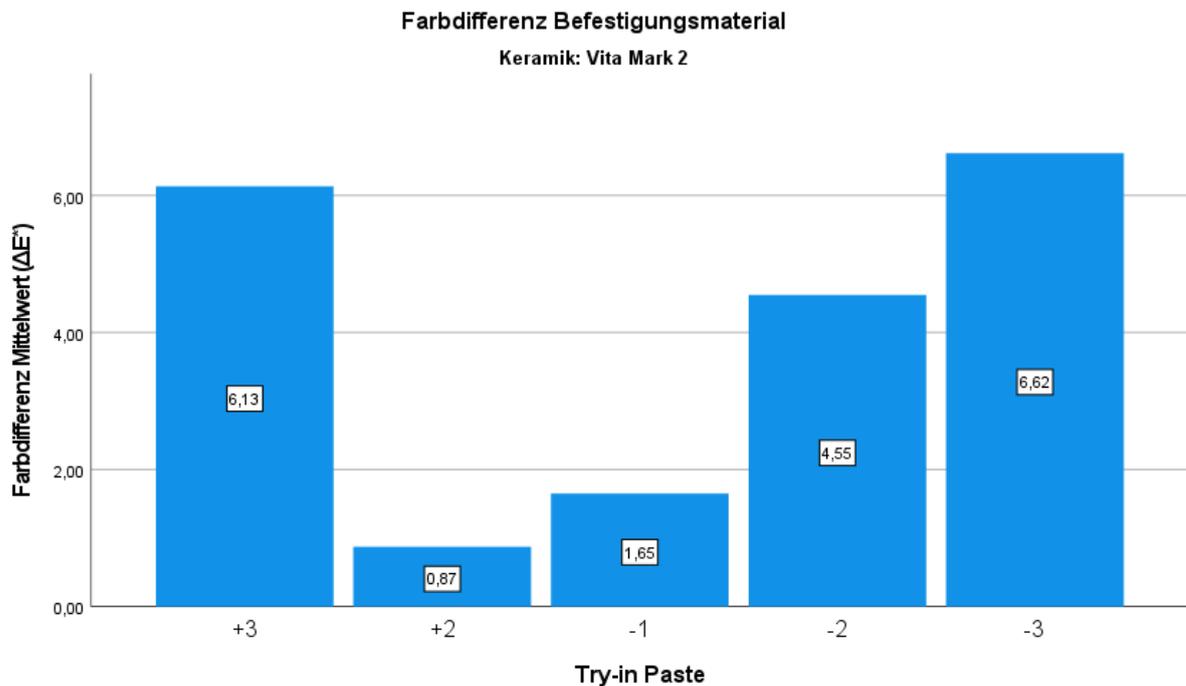


Abbildung 38; Einfluss der Zementfarbe auf die Keramik VITA Mark II

Der geringsten ΔE -Wert wurde beim Vergleich von Try-in Paste +2 und +1 ($\Delta E=0,87$) berechnet. Mit Zunahme der Opazität bzw. dem Anteil an Farbpigmenten nimmt auch die Farbdifferenz (ΔE^*) zu.

Der Vergleich der Try-in Paste +2 und -1 mit der Referenzfarbe +1 ergibt einen Farbumterschied, der mit $\Delta E < 3,7$ klinisch akzeptabel ist. Die Farbdifferenzen (ΔE^*) der Try-in Paste +3, -2 und -3 sind mit $\Delta E > 3,7$ klinisch inakzeptabel.

Der Unterschied zwischen den Gruppenvergleichen ist statistisch signifikant ($p \leq 0,05$). Ausnahme ist der ΔE -Wert zwischen Try-in Paste +2/-1, -2/+3, und -3/+3. Für diese Gruppen liegt keine statistische Signifikanz vor ($p > 0,05$).

6 Diskussion

6.1 Methodendiskussion

Bei dieser In-vitro-Untersuchung wurden keramische Kronen entsprechend den Präparationsrichtlinien angefertigt und spektralphotometrisch analysiert. Als keramisches Material wurden monolithische Vollkeramik-Systeme auf Feldspatbasis, VITA Real Life und VITA Mark II, sowie Leuzit-Glaskeramik IPS Empress CAD verwendet. Beide Keramikarten sind für die Versorgung im Frontzahnbereich indiziert, sind schon lange auf dem Markt und haben eine gute Überlebensrate [107]. Zusätzlich bietet die industrielle Fertigung der Blöcke ein homogenes Gefüge der Konstruktion und gute Oberflächenstruktur. Im Vergleich zur manuellen Anfertigung der keramischen Restaurationen können bei den industriell gefertigten Rohlingen Farb- und Fehlerunterschiede ausgeschlossen werden. [108]

Viele in der Literatur beschriebene Studien zur finalen Farbproduktion führten Messungen an planen Scheiben durch [5,75,80,81,]. An planen Scheiben lassen sich hohe Reproduzierbarkeit und Präzision der Messung erreichen. Jedoch entspricht die Farbmessung an planen Flächen nicht der Farbmessung an realen gekrümmten Oberflächen. Bei gleichem Emissionslicht und gleichem Einfallswinkel ist das Reflexionslicht an einer planen Fläche verschieden vom Reflexionslicht an einer gekrümmten Fläche. Das beeinflusst Spektrophotometrische Farbmessungen [109]. Um möglichst gut klinische Bedingungen zu simulieren, ist es daher entscheidend, die Messungen nicht an planen Scheiben, sondern an realen Zahnformen durchzuführen.

Für Farbuntersuchungen der Keramischen Restaurationen sind digitale Farbmessgeräte der visuellen Farbbestimmung in ihrer Exaktheit und Reproduzierbarkeit überlegen [110,111].

Es gibt verschiedene digitale Farbmesssysteme, die in der Zahnfarbbestimmung gebräuchlich sind. Die gängigsten sind Spektrophotometer, Kolorimeter oder digitale Kamerasysteme [78]. Chang et al untersuchten die Akkuratheit dentaler Farbmessgeräte [112]. Die untersuchten Spektrophotometer (VITA Easyshade und DeguDent Shadeplot) wiesen signifikant geringere Schwankungen bezüglich der Akkuratheit in unterschiedlichen Bereichen des Farbraums auf als das untersuchte Colorimeter (ShadeEye NCC). Das Colorimeter lieferte für manche Bereiche des Farbraums klinisch nicht akzeptable Werte von $\Delta E > 4,2$. Das VITA Easyshade Advance ist das in Deutschland

am häufigsten verwendete Spektrophotometer, welches sich zum Standard-Referenzsystem für digitale Bestimmung der Zahnfarbe entwickelt hat [113]. Es misst das vom Prüfkörper reflektierte Licht und ermittelt eine Remissionskurve. Aus gewonnenen Farbinformationen werden in die CIE L*a*b* Farbkoordinaten bestimmt und die Farbdifferenzen (ΔE -Werte) berechnet. [114] Die Messspitze des VITA Easyshade Advance hat einen Durchmesser von 5mm und wird beim Messen direkt auf die Fläche der Prüfkörpers aufgesetzt. Dadurch wird eine hohe Messgenauigkeit erreicht, unabhängig von den vorliegenden Lichtverhältnissen und den Anwendern [115]. Die hohe Reproduzierbarkeit der Messergebnisse von Easyshade Advance wurde unter anderem in der Studie von Lehmann et al. nachgewiesen [116].

Bei der elektronischen Messung können mindestens zwei Ungenauigkeiten auftreten. Zum einen ein unterschiedlicher Winkel beim Aufsetzen der Messsonde auf die zu messende Fläche. Durchschnittliche Abweichungen mit Farbdifferenzen $\Delta E > 1$ wurden schon bei einer Neigung des Messkopfs von nur 2° gegen die Orthogonale an konvexen Zahnflächen gemessen [117]. Auch unterschiedliche Messorte am Zahn können zu Ungenauigkeiten der Messergebnisse führen, da im inzisalen Drittel herrschenden Transluzenz der Schneidekanten und der auf das gingivale Drittel einwirkenden Farbe der Gingiva die Reproduzierbarkeit der Messresultate beeinflussen kann. Um sicherzustellen, dass bei Messwiederholungen konstant dieselbe Stelle erfasst wird, empfiehlt sich die Herstellung einer Messschablone [118]. So werden die Bedingungen für die objektive Bewertung der Reliabilität erfüllt. Allerdings muss man anmerken, dass im Behandlungsalltag die Herstellung einer individuellen Tiefziehschiene bei jeder In-vivo-Messung einen unverhältnismäßigen Aufwand bedeuten würde [115]. Es werden also gewisse Messunsicherheiten durch die Bewegung des Patienten oder des Behandlers in Kauf genommen [46]. Die Messungen sollen von einem erfahrenen Behandler durchgeführt werden, das führt zu einer signifikant höheren Messgenauigkeit [119].

Bei dieser Untersuchung wurden die Messungen stets von derselben geschulten Person (Zahnärztin) durchgeführt. Interindividuelle Schwankungen bei den Messwerten sind dadurch ausgeschlossen.

Alle Messungen erfolgten unter Standard-Beleuchtung mit Normlicht D65 in einer Abmusterungskammer. Spektrophotometrische Punktmessgeräte sind allgemein sehr wenig anfällig für Messverzerrungen durch Umgebungslicht. Dennoch haben die Beleuchtungsverhältnisse einen Einfluss. Die Messungen sollten daher unter konstanten, kontrollierbaren und reproduzierbaren Beleuchtungsverhältnissen durchgeführt

werden. Als Beleuchtungsstandard wird heute üblicherweise Normlicht D65 („daylight“ mit 6504 Kelvin) nach DIN 6173 verwendet [109]. Dieser Standard wurde auch in der vorliegenden Studie verwendet.

Für die Untersuchung wurden die Keramikkrone mit Hilfe von Try-in Pasten auf den Stümpfen fixiert. Befestigungskomposite zählen mittlerweile zum Goldstandard zur festen Befestigung von vollkeramischen Zahnersatz [120]. Dabei überzeugt nicht nur die gute mechanischen Eigenschaft, sondern auch das gute ästhetische Ergebnis und eine gute Farbbeständigkeit [121].

Die von den Herstellern zur Verfügung gestellten Try-in Pasten sollen dem Farbergebnis der auspolymerisierten Befestigungskomposite entsprechen.[83] Diese farbliche Übereinstimmung ist allerdings umstritten. So ist es Al Ghazali et al gelungen klinisch signifikante Abweichungen zwischen dem farblichen Endergebnis der Befestigungskomposite und der Try-in Pasten für Calibra (Dentsply), Nexus (Kerr Corporation) und Rely-X (3M-ESPE) nachzuweisen [122]. Xing et al dagegen fand gute Übereinstimmung zwischen der Farbe der Try-in Paste und dem auspolymerisiertem Befestigungsmaterial für das Variolink Veneer System [123]. Die Möglichkeit, das Try-in Material rückstandslos zu entfernen war ein weiteres Kriterium für die Verwendung dieses Materials, um die adhäsive Befestigung zu simulieren.

Es wurde der Einfluss von folgenden Faktoren untersucht und einzeln betrachtet: Keramikart, Farbe des Befestigungsmaterials, Stumpffarbe und Oberflächenbeschaffenheit. Zur Untersuchung eines Einflussfaktors wurden alle anderen Einflussfaktoren gleichgeschaltet. Z.B. zur Untersuchung des Einflussfaktors Stumpffarbe wurden die Faktoren Keramikart, Farbe des Befestigungsmaterials und Keramikoberfläche nicht variiert. Ziel ist es die Stärke des einzelnen Einflussfaktors darzustellen um Gesetzmäßigkeiten der Verschiebung der CIE L*a*b* Koordinaten im Sinne einer klinischen Relevanz (ΔE^*) beurteilen zu können.

6.2 Ergebnisdiskussion

6.2.1 Einfluss der Oberflächenbeschaffenheit

Die Messergebnisse der Farbunterschiede (ΔE^*) zwischen den Gruppen rau, poliert und glazed zeigten klinisch relevante Farbveränderungen ($\Delta E > 3,7$). Die Farbdifferenz (ΔE^*) zwischen der Messgruppe rau und poliert ergab für alle Keramiken einen wahrnehmbaren Unterschied ($\Delta E > 1$). Die Werte für die gemessene Restaurationen VITA Real Life 2 und 3, sowie die Keramiken IPS Empress CAD und VITA Mark II lagen dabei knapp an der klinischen Akzeptanzgrenze ($\Delta E < 3,7$). Die Farbdifferenz zwischen der Messgruppe rau und glazed ergab noch höhere Werte. Bis auf die Keramik IPS Empress CAD hatten alle Keramiken klinisch nichtakzeptable Farbdifferenz erreicht ($\Delta E > 3,7$). Zwischen den Gruppen poliert und glazed wurden für die Keramik VITA Real Life und IPS Empress CAD klinisch akzeptable Werte gemessen ($\Delta E > 1$; $< 3,7$). Die Keramik VITA Mark II lag mit der Farbdifferenz im nicht akzeptablen Bereich ($\Delta E = 5,19$). Die Untersuchung hat gezeigt, dass die Veränderung der Oberflächenbeschaffenheit von rau zu poliert die Farbe bei der Keramik VITA Real Life 1 signifikant beeinflusste ($p = 0,000$). Bei der Modifikation der Oberflächenbeschaffenheit von poliert zu glazed zeigte sich bei der Keramik VITA Mark II eine signifikante Farbveränderung ($p = 0,000 - 0,001$). Beim Vergleich der Oberflächenbeschaffenheiten poliert und glazed zeigte sich für alle Keramiken kein signifikanter Farbunterschied ($p > 0,5$).

Der keramische Zahnersatz wird nach der Fertigstellung im Labor stets einer Oberflächenmodifikation unterzogen. Um der Oberflächenrauigkeit entgegenzuwirken, wird die Keramik poliert, oder einem Glanzbrand unterzogen. Es ist untersucht, dass eine raue Keramikoberfläche zu einer Pigmenteinlagerung und Abnutzung führt [124]. Durch das Glätten der Oberfläche wird die wirksame Oberfläche verkleinert. Der Zahnersatz wird dadurch weniger anfällig für Plaqueanlagerung und lässt sich besser reinigen [10]. Kim et al untersuchte den Einfluss der Oberflächenmodifikation auf die finale Farbe der Keramikrestauration und stellte eine Farbdifferenz ($\Delta E > 3,3$) zwischen unterschiedlichen Oberflächentopografien fest. Da jedoch bei diesem Versuch die Oberfläche der Keramik mit Schleifpapier bearbeitet wurde, stellt die nachgewiesene Farbdifferenz (ΔE^*) keine klinische Relevanz dar [8]. (Die optische Anordnung der Glas-Matrix in verschiedenen Keramiksyste men, in Kombination mit der kristallinen Lithium-Disilikat Phase beeinflusst die innere Brechung des Lichtes auf dem Weg durch die Keramik. Je nach Keramikart kann der Transluzenzgrad durch die

Oberflächenmodifikation noch verstärkt werden [125]. Daraus lässt sich ableiten, dass die Wahl der Transluzenz eine entscheidende Bedeutung für die Farbe der Keramikrestauration hat und gegebenenfalls in einer Fehlfarbe resultieren kann. Diese Ergebnisse machen deutlich, dass bei der Kommunikation mit dem Zahntechniker neben der Zahnfarbe auch die Transluzenz dokumentiert werden muss. Die Topografie der Oberfläche und die Transluzenz verändern die Farbkoordinaten der getesteten Keramik.

6.2.2 Einfluss der Stumpffarbe

In dieser Studie wurde der Einfluss der Stumpffarbe auf das Farbergebnis von vollkeramischen Kronen untersucht. Verschiedenfarbige Kunststoffstümpfe werden hergestellt, um die Ausgangsfarbe des präparierten Zahnes zu simulieren [126]. Für die Herstellung der Farbstümpfe wurde im Rahmen dieser Untersuchung das lichthärtende Material der Firma Ivoclar Vivadent (IPS Natural Die Material) verwendet. Dieses Material ist in 9 Farben erhältlich. Es eignet sich, um die unterschiedlichen Farben der präparierten Stümpfe zu simulieren [104]. Die zur Untersuchung verwendete Stumpffarbe ND1 entspricht der Farbe zur Imitation von gebleichten Stümpfen; ND6 entspricht der Farbe zur Imitation von farbintensivem Sekundärdentin; ND entspricht der Farbe zur Imitation von stark verfärbten / devitalen Stümpfen. Außerdem wurden noch Stümpfe der Farbe ND2 und ND5 hergestellt. Bei der Untersuchung der Stümpfe wurde der Farbunterschied im Vergleich zum Frasco-Hauptstumpf berechnet. Bei allen untersuchten Keramiken wurde für alle Stumpffarben eine wahrnehmbare Farbdifferenz festgestellt ($\Delta E > 1$). Nur bei der Stumpffarbe ND1 lag die Farbdifferenz eindeutig im klinisch akzeptablen Bereich ($\Delta E < 3,7$). Bei der Stumpffarbe ND2 war das Resultat im klinisch akzeptablen Bereich ($\Delta E < 3,7$). Für die Stumpffarben ND5,6 und 9 konnte kein klinisch akzeptables Ergebnis der Farbdifferenz gemessen werden ($\Delta E > 3,7$). Der Übergang von einer hellen zu einer dunklen Stumpffarbe führte also, unabhängig von der Keramikart immer zu einem wahrnehmbaren ($\Delta E > 1$) und für die Stümpfe ND5, ND6, und ND9 zu einem klinisch inakzeptablen Farbunterschied ($\Delta E > 3,7$).

Da monolithische Keramiken das Licht stärker brechen und transmittieren als konventionelle Keramiksysteme, wird die Vorhersage des Farbresultates einer vollkeramischen Restauration erschwert [5]. Es bleibt immer ein Risiko, dass die Farbe des darunterliegenden Strukturen die optische Erscheinung der Restauration negativ beeinflussen kann [126]. Es erscheint also sinnvoll die Farbe des Präparierten Zahnes zu

bestimmen und dem Zahntechniker mitzuteilen. So kann im Labor ein entsprechender Kunststoffstumpf hergestellt und die Farbe der vollkeramischen Restauration angepasst werden [5,126]. Während eine helle Stumpffarbe zwar zu einem wahrnehmbaren, aber klinisch akzeptablen Farbdifferenz führt ($\Delta E > 1$; $< 3,7$), kann für dunkle Stumpffarbe keine klinisch akzeptable Farbdifferenz erreicht werden ($\Delta E > 1$; $> 3,7$). Die Nullhypothese, dass die Farbdifferenz zunimmt, wenn die Stumpffarbe dunkler wird, kann anhand der Ergebnisse dieser Untersuchung für alle untersuchten Keramikarten belegt werden.

6.2.3 Einfluss der Farbe des Befestigungsmaterials

Im Rahmen dieser Studie wurde der Einfluss vom Befestigungsmaterial Variolink Veneer mit farblich unterschiedlichen Try-in Pasten untersucht. Der Einfluss auf die Farbrealisation der Kronenrestauration wurde mit den Try-in Pasten des Variolink Veneer Systems in den Farben +1, +2, +3, -1, -2, und -3 getestet. Die Keramikronen wurden temporär mit den Try-in Pasten fixiert. Der Zementspalt betrug 0,1mm. Der Effekt der Farbe des Befestigungsmaterials wurde im Vergleich zur Farbe +1 betrachtet. Die Farbmessung hat ergeben, dass der geringste Farbunterschied für die Try-in Paste +2 besteht. Für die Keramiken VITA Real Life 2 und 3, sowie für die Keramiken IPS Empress CAD und VITA Mark II liegt der Farbunterschied unterhalb des wahrnehmbaren Grenzwertes von $\Delta E = 1$. Für die Keramik Real Life 1 wurde bei der Try-in Farbe +2 ein Farbunterschied von $\Delta E = 1.28$ gemessen. Das ist zwar ein wahrnehmbarer Farbunterschied ($\Delta E > 1$), liegt aber im klinisch akzeptablen Bereich ($\Delta E < 3,7$). Auch die Try-in Pasten der Farbe +3, -1, -2 und -3 ergaben für die Kronen aller VITA Real Life Keramiken ein klinisch akzeptablen Farbunterschied ($\Delta E < 3,7$). Bei den Keramiken IPS Empress CAD und VITA Mark II wurde für die Try-in Pasten +3, -1, -2 und -3 ein wahrnehmbarer Farbunterschied ($\Delta E > 1$) gemessen. Bei der Try-in Paste -1 lag der Farbunterschied im klinisch akzeptablen Bereich ($\Delta E < 3,7$). Für die Pasten +3, -2 und -3 wurden klinisch nicht akzeptabler Farbdifferenzen festgestellt ($\Delta E > 3,7$). Die größten Unterschiede wurden dabei bei der VITA Mark II Keramik beobachtet. Der Einfluss auf das Farbresultat von transluzenten Keramikrestorationen durch farblich unterschiedlichen Befestigungsmaterialien konnte auch in anderen Untersuchungen bestätigt werden [18, 122,127,128]. Chang et al konnte belegen, dass bei Leuzit-verstärkten Glaskeramiken, wie der IPS Empress CAD, ab einer Keramikstärke von 2mm

darunterliegende Strukturen keinen Einfluss auf die Farbe hatten. Die Reduktion der Keramikstärke von IPS Empress auf 1,5mm führte wiederum zu klinisch wahrnehmbaren Farbdifferenzen (ΔE^*) [127]. Der Grund für die hohen Farbdifferenzwerte bei VITA Mark II im Vergleich zu anderen Keramiken kann in der höheren Transluzenz liegen [129]. Die Keramiken VITA Mark II und IPS Empress CAD unterscheiden sich in ihren optischen Eigenschaften in Bezug auf Zusammensetzung und Brechungsindex [130]. VITA Real Life Keramik entspricht in ihrer chemischen Zusammensetzung der VITA Mark II. Allerdings ist die optische Eigenschaft der VITA Real Life Keramik durch die dreidimensionale Blockstruktur mit Dentinkern und Schmelzhülle eine andere [99]. Aus diesem Grund kann der Einfluss der Farbe des Befestigungsmaterials bei VITA Mark II stärker ausfallen. Dozic et al konnte im Rahmen einer in-vitro-Untersuchung belegen, dass opake Try-in Pasten dunkle und stark verfärbte Stümpfe besser maskieren können als transparente Analoga [131]. Weiße und gelbe Try-in Pasten mit einer geringen Opazität zeigen hingegen einen kleineren Effekt auf die Farbe der keramischen Restaurationen, während die Steigerung der Opazität bzw. dem Anteil an Farbpigmente den Einfluss der Farbe des Befestigungsmaterials verstärkt [89]. Die unterschiedliche Auswirkung der Befestigungsmaterialien auf das Farbergebnis der Restauration hängt also auch von der gewählten Keramikart ab.

Bei der Farbmessung von Einzelzahnkronen auf Kunststoffstümpfen wurden sowohl nicht wahrnehmbare, wahrnehmbare wie auch klinisch inakzeptable Farbunterschiede gefunden. Es ist davon auszugehen, dass besonders das Farbmanagement von transluzenten Keramiken, wie der VITA Mark II, unter Einfluss der Farbe des Befestigungsmaterials modifizierbar ist. Die Nullhypothese, dass mit Zunahme der Opazität bzw. dem Anteil an Farbpigmenten der Farbunterschied (ΔE^*) zunimmt konnte im Rahmen dieser Untersuchung belegt werden.

6.2.4 Einfluss der Keramikart

Bei dieser Untersuchung wurden signifikante Unterschiede zwischen den Farbdifferenzen (ΔE^*) der verglichenen Keramikarten festgestellt ($p < 0,05$). Die Farbdifferenz (ΔE^*) nahm besonders in Bezug auf die Keramik VITA Mark II zu ($\Delta E = 1,21$). Diese Farbdifferenz ist wahrnehmbar ($\Delta E > 1$), liegt aber im klinisch akzeptablen Bereich ($\Delta E < 3,7$). Farbdifferenz der Real Life Keramiken und der IPS Empress CAD liegt im nicht wahrnehmbaren Bereich ($\Delta E < 1$). Die meisten Untersuchungen, die sich mit dem

Einfluss der Keramik auf das Farbergebnis der Restauration beschäftigen, konzentrieren sich auf die Keramikstärke oder den Transluzenzgrad verschiedener Keramikfarben. [126,132]. Dabei spielt die Materialeigenschaft der Keramik eine wichtige Rolle, wenn es darum geht die darunterliegenden Strukturen zu maskieren. Die keramische Restauration erscheint umso opaker, je weniger Licht gestreut oder durchgeleitet wird. Diese sogenannte relative Transluzenz ist bei allen Herstellern und Keramiksystemen verschieden [4,133]. Der chemische Aufbau, sowie die Größe und der Anteil an Glas- bzw. Kristallpartikeln entscheidet also über die Transluzenz des Keramiksystems [134]. Sehr feste Keramiksysteme besitzen aufgrund hohen Anteils an kristallinen Partikeln eine hohe Opazität [4,135]. Die Keramiksysteme, die für die CAD/CAM-Anwendung bestimmt sind, sind meistens Feldspat-, Leuzitverstärkte- oder Lithiumdisilikat-Keramiken [135]. Diese Keramiken haben in der Regel eine hohe Transluzenz, so dass für eine effektive Maskierung darunterliegender Strukturen eine gewisse Keramikstärke bestehen muss [90]. Der Einfluss der Transluzenz auf die Farbdifferenz ist besonders bei der untersuchten VITA Mark II Keramik erkennbar. Dieses Feldspat-Keramiksystem hat die höchste Transluzenz unter den in dieser Studie untersuchten Keramiken und hat auch die höchsten Messwerte bei der Farbdifferenz erreicht.

Bei den IPS Empress CAD Rohlingen handelt es sich um eine Leuzit-Glaskeramik. Diese besteht aus einer künstlich und kontrolliert erzeugten Glasmatrix und gezielt gebildeten Leuzitkristallen. Dieses Verfahren führt zu hoher Festigkeit des entstandenen Werkstoffes und einer im Vergleich zu VITA Mark II niedrigeren Transluzenz [101]. Die VITA Real Life Keramik entspricht in ihrer chemischen Zusammensetzung der VITA Mark II. Allerdings ist die optische Eigenschaft der VITA Real Life Keramik durch die dreidimensionale Blockstruktur mit Dentinkern und Schmelzhülle eine andere [99]. Somit kann je nach Positionierung der Restauration im Block unterschiedlich hohe Transluzenz erzielt werden. Für diese Studie wurde die Positionierung mit Schmelzüberdeckung von 75%, 50% und 25% gewählt. Der Farbunterschied ist bei den Kronen mit dem höchsten Schmelzanteil am stärksten ($\Delta E=0,65$) und nimmt mit zunehmenden Dentinanteil ab ($\Delta E=0,46$). Allerdings sind das Messgrößen, die weder wahrnehmbar ($\Delta E < 1$), noch klinisch signifikant sind ($\Delta E < 3,7$).

Jedes Keramiksystem hat eigene charakteristische optische Eigenschaften die entsprechend der klinischen Situation ausgewählt werden müssen [129].

Die Nullhypothese, dass mit der Transluzenz eines Keramiksystems eine Zunahme der Farbdifferenz (ΔE^*) einhergeht, kann bestätigt werden.

7 Zusammenfassung

Ziel dieser Untersuchung war es den Einfluss von unterschiedlicher Oberflächenbeschaffenheiten, Farbe des Zahnstumpfes und Farbe des Befestigungsmaterials auf die Farbrealisation der monolithischen Keramiksyste m e VITA Real Life, IPS Empress CAD und VITA Mark II zu untersuchen. Daf \ddot{u} r wurden vollkeramische Kronen aus den entsprechenden Keramiksyste m en mit Hilfe der CAD/CAM-Technik hergestellt. Insgesamt standen 45 Pr \ddot{u} fk \ddot{u} rper zur Verf \ddot{u} gung.

Zur \ddot{U} berpr \ddot{u} fung der Farbdifferenz der Einsatzmaterialien wurden die Kronen mit der Variolink Veneer Try-in Pasten den Farben +1, +2, +3, -1, -2 und -3 tempor \ddot{a} r befestigt. Hierbei erfolgte das Einsetzen der Kronen nicht nur auf dem Hauptstumpf, sondern auch auf Kunststoffst \ddot{u} mpfen in den Farben ND1, ND2, ND5, ND6 und ND9. Jede der m \ddot{o} glichen Kombinationen aus Keramikart, Farbe des Befestigungsmaterials und Stumpffarbe wurde 10mal mit Hilfe eines dentalen Spektrophotometers (VITA Easyshade Advance) vermessen. Dabei erfolgte die Messung zuerst f \ddot{u} r die Kronen mit rau \ddot{e} r Oberfl \ddot{a} che. Nach dem ersten Messdurchgang wurde die Kronenoberfl \ddot{a} che nach dem Polierprotokoll bearbeitet und der Messdurchlauf f \ddot{u} r alle Keramikarten und Befestigungsmaterialien mit dem Hauptstumpf wiederholt. Gleiche Messung erfolgte erneut nach dem Glanzbrand. Die gewonnenen CIE L*a*b* Farbkoordinaten wurden genutzt um Farbunterschiede (ΔE^*) innerhalb der Einflussfaktoren zu berechnen. Hierbei wurde f \ddot{u} r jeden Einflussfaktor eine Referenz ausgew \ddot{a} hlt, gegen die der Farbunterschied berechnet wurde. Dar \ddot{u} ber hinaus erfolgte zur statistischen Analyse der ermittelten ΔE -Werte der Einflussfaktoren eine einfaktoriel l e Varianzanalyse (ANOVA) mit post-hoc Bonferroni Untersuchung.

Bei dieser Untersuchung wurden signifikante Unterschiede zwischen den Farbdifferenzen (ΔE^*) festgestellt, wenn man die verschiedenen Keramikarten miteinander vergleicht ($p < 0,05$). Die Farbdifferenz (ΔE^*) nahm besonders in Bezug auf die Keramik VITA Mark II zu ($\Delta E = 1,21$). Diese Farbdifferenz ist wahrnehmbar ($\Delta E > 1$), liegt aber im klinisch akzeptablen Bereich ($\Delta E < 3,7$). Farbdifferenz der Real Life Keramiken und der IPS Empress CAD liegt im nicht wahrnehmbaren Bereich ($\Delta E < 1$).

Die Verwendung von Try-in Pasten f \ddot{u} hrte bei der Versorgung von Einzelzahnkronen zu nicht wahrnehmbaren, wahrnehmbaren wie auch klinisch inakzeptablen Farbunterschieden. F \ddot{u} r die Keramiksyste m e Real Life 2 und 3 wurde bei den Try-in Pasten, bis auf die Farben +2 und -1 ein wahrnehmbarer Farbunterschied ($\Delta E > 1$) festgestellt, der aber im klinisch akzeptablen Bereich ($\Delta E < 3,7$) liegt. Bei Real Life 1 haben alle

Messungen der Try-in Pasten mit einem wahrnehmbaren Farbunterschied ($\Delta E > 1$) abgeschnitten, der aber ebenfalls im klinisch akzeptablen Bereich ($\Delta E < 3,7$) liegt. Bei den Keramiksystemen IPS Empress CAD und VITA Mark II war der Farbunterschied für die Try-in Paste der Farbe +2 nicht wahrnehmbar ($\Delta E < 1$). Für die Try-in Paste -1 war die Farbdifferenz zwar im wahrnehmbaren, aber klinisch akzeptablen Bereich ($\Delta E > 1; < 3,7$). Für die Try-in Pasten -2, +3 und -3 ergaben sich sogar klinisch inakzeptable Farbdifferenzen ($\Delta E > 3,7$). Unabhängig der Restaurationsart konnte festgestellt werden, dass sich mit Zunahme der Opazität bzw. dem Anteil an Farbpigmenten der Try-in Pasten die Farbdifferenz (ΔE^*) vergrößerte.

Die Betrachtung der Stumpffarben ND1 und ND2 als Einflussfaktor ergab für alle Keramiksysteme wahrnehmbare, aber klinisch akzeptable Farbdifferenzen ($\Delta E > 1; < 3,7$). Der Austausch der Stumpffarbe auf ND5, ND6 und ND 9 produzierte stets klinisch inakzeptable Farbdifferenzen ($\Delta E > 1; > 3,7$). Im Bezug zur Stumpffarbe kann geschlossen werden, dass die Farbdifferenz zunimmt, wenn die Stumpffarbe dunkler wird.

Die Messergebnisse der Farbunterschiede (ΔE^*) zwischen den Gruppen rau, poliert und glazed zeigten klinisch relevante Farbveränderungen ($\Delta E > 3,7$). Die Farbdifferenz (ΔE^*) zwischen der Messgruppe rau und poliert ergab für alle Keramiken einen wahrnehmbaren bis hin zu klinisch inakzeptablem Unterschied ($\Delta E > 1; \geq 3,7$). Die Farbdifferenz zwischen der Messgruppe rau und glazed ergab noch höhere Werte. Bis auf die Keramik IPS Empress CAD hatten alle Keramiken klinisch nichtakzeptable Messwerte erreicht ($\Delta E > 3,7$). Zwischen den Gruppen poliert und glazed wurden für die Keramik VITA Real Life und IPS Empress CAD klinisch akzeptable Werte gemessen ($\Delta E > 1; < 3,7$). Die Keramik VITA Mark II lag mit den Messwerten im nicht akzeptablen Bereich ($\Delta E = 5,19$).

Die Ergebnisse dieser Untersuchung bestätigen, dass die Reproduktion und Vorhersagbarkeit der resultierenden Restaurationsfarbe von vielen Faktoren abhängen und sehr komplex sind. Es müssen die materialspezifischen Eigenschaften, wie Transluzenz, Opaleszenz, Reflektion- und Absorptionsverhalten der Keramiksysteme berücksichtigt werden. Dieses Wissen kann helfen, die richtige Entscheidung bei der Wahl des Keramiksystems für eine Restauration zu treffen. Adhäsive Befestigungssysteme bieten noch weitere Möglichkeiten das farbige Endresultat zu modifizieren. Wenn man alle Erkenntnisse dieser Studie berücksichtigt, könnte ein System ausgearbeitet werden, welches es dem Behandler und dem Techniker ermöglicht abhängig

von der Ausgangssituation und Restauraionsart bei der Zahnersatzherstellung und Befestigung das bestmögliche ästhetische Resultat zu erzielen.

8 Literaturverzeichnis

- [1] Haiderer B, Glockner K. Farbverteilung permanenter, natürlicher Dentition an 500 Patienten der Grazer Zahnklinik. *Stomatologie* 2012; 109; 23-26
- [2] Gómez-Polo C, Gómez-Polo M, Celemin-Vinuela A, De Parga J. Differences between the human eye and the spectrophotometer in the shade matching of tooth colour. *The Journal of Prosthetic Dentistry*. 2014; 42; 742-745
- [3] Lemire PA, Burk B. *Farbe und Zahnersatz. Die Quintessenz*, Berlin, Chicago, Rio de Janeiro, Tokio. 1979
- [4] Conrad HJ, Seong WJ, Pesun IJ. Current ceramic materials and systems with clinical recommendations: a systematic review. *The Journal of Prosthetic Dentistry* Nov 2007; 98(5):389-404
- [5] Turgut S, Bagis B, Ayaz EA. Achieving the desired colour in discoloured teeth, using leucite-based CAD-CAM laminate systems. *The Journal of Prosthetic Dentistry*. Jan 2014;42(1):68-74.
- [6] Ilie N. Transmitted irradiance through ceramics: effects on the mechanical properties of a luting resin cement. *Clinical Oral Investigations* Jun 2016; 1-8
- [7] Raab D. Bestimmung der Zahnfarbe und Modifikation der Farbwirkung von Vollkeramik-restaurationen durch unterschiedliche Zementfarbtöne. *Dental Tribune German Edition* 2008: 6; *Cosmetics Special* 17 – 19
- [8] Kim, I.J., et al., Effect of surface topography on the color of dental porcelain. *The Journal of Materials Science: Materials in Medicine*. 2003; 14(5): p. 405-9
- [9] Obregon, A., R.J. Goodkind, and W.B. Schwabacher, Effects of opaque and porcelain surface texture on the color of ceramometal restorations. *The Journal of Prosthetic Dentistry*. 1981; 46(3): p. 330-40
- [10] Strub, J. R.: *Vollkeramische Systeme*. *Deutsche Zahnärztliche Zeitschrift*. 1992; 47, 566-571
- [11] Tin Oo M.M, Saddki N, Hassan N. Factors influencing patient satisfaction with dental appearance and treatments they desire to improve aesthetics. *BioMed Central Oral Health* Feb 2011; 11(6)
- [12] Afroz S, Rathi S, Rajput G, Rahman S. Dental Esthetics and its Impact on Psycho-Social Well-Being and Dental Self Confidence: A Campus Based Survey of North Indian University Students. *The Journal of Indian Prosthodontic Society*. Dec. 2013; 13(4); 455-460

- [13] Zöllinger H. Color: a multidisciplinary approach. Zürich [u.a.]: Verlag. Helvetica Chimica Acta. 1999
- [14] Hunter RS, Harold RW. 1987. The measurement of appearance match by visual observation and clinical colorimetry. New York: John Wiley: 63-68
- [15] Baltzer A, Kaufmann-Jinioan V. Die Bestimmung der Zahnfarben, Quintessenz Zahntechnik. 2004a; 30(7); 726-740
- [16] O'Brien W. Double layer effect and other optical phenomena related to esthetics. Dental Clinics of North America. 1985;29(4):667-72.
- [17] Baldissara P, Llukacej A, Ciocca L, Valandro FL, Scotti R. Translucency of zirconia copings made with different CAD/CAM systems. The Journal of Prosthetic Dentistry. 2010; 104(1):6-12
- [18] Bagis B, Turgut S. Optical properties of current ceramics systems for laminate veneers. The Journal of Prosthetic Dentistry. 2013;41 (3): e2430.
- [19] Strub J.R, Kern M, Türp J.C, Witkowski S, Heydecke G, Wolfart S. Curriculum Prothetik Band II, Quintessenz Verlag Berlin, 4., überarbeitete und erweiterte Auflage, ISBN 978-3-86867-027-1; 355-385
- [20] Winter R. Visualizing the natural dentition. The Journal of Esthetic and Restorative Dentistry. 1993; 5 (3):102-117
- [21] Touati B, Miara P, Nathanson D, Schmalz G, Federlin M, Touati Miara N. Ästhetische Zahnheilkunde und keramische Restaurationen. München: Urban&Fischer. 2001.
- [22] Schumacher GH, Benner KU, Bergmann M, Koebke J, Koppe T, Mangold U, Sauerbier I, Schmidt W, Steiringer B, Stratmann U, Wulfhekel U. Anatomie für Zahnmediziner: Lehrbuch und Atlas. Heidelberg: Hüthig Verlag. 1997; 332.
- [23] Hegebarth EA. Systematik der individuellen keramischen Farbgestaltung. Berlin: Quintessenz Verlag. 1988
- [24] Hellwig E, Klimek J, Attin T. Einführung in die Zahnerhaltung. Fünfte Auflage. Köln: Deutsche Zahnärzte Verlag. 2010
- [25] Hashinaka T. Die Beherrschung der Farbhelligkeit für die genaue Farbproduktion. Quintessence International. 2013; 40(5):421-426.
- [26] Roche Lexikon Medizin. 2003. Opaleszenz. Fünfte Auflage. München, Jena: Urban & Fischer.

- [27] Freesmeyer WB: Klinische Prothetik, Band 2: Herausnehmbarer Zahnersatz und Gewebeersatz (Epithetik). Hüthig GmbH, Heidelberg, 1999.
- [28] Vollmann M. Vitapan 3D-Master-Theorie und Praxis. The Dental Laboratories. 1998; 46(8): 1247-54.
- [29] Kappert HF, Vollmann M. Farbnahme: Grundlagen und Aufbau des neuen Zahnfarbsystems der VITA-Zahnfabrik. ZT-Magazin für innovative Zahntechnik 1998;(1):6-10.
- [30] VITA-Zahnfabrik (Produktinformation): Farbnahme. Das neue Farbsystem Vitapan 3D-Master. Bad Säckingen: VITA-Zahnfabrik; 1998
- [31] Billmeyer F, Saltzmann M. Grundlagen der Farbtechnologie. Muster-Schmidt Verlag Göttingen Zürich. 1993
- [32] Muia PJ. Das vierdimensionale Zahnfarbsystem. Berlin Quintessenz. 1982; 11-56.
- [33] Vichi A, Ferrari M, Davidson CI. Color and opacity variations in three different resin-based composite products after water aging. Dental materials. 2004; 20;530-534
- [34] Preston JD. Farbe in der zahnärztlichen Keramik. In: Schärer P, Rinn LA, Kopp E. Ästhetische Richtlinien für die rekonstruktive Zahnheilkunde. Berlin: Quintessenz; 1980
- [35] Faber FJ. Die Bestimmung der Zahnfarbe. Deutsche Zahnärztliche Zeitschrift. 2002; 57: 448-449
- [36] CIE (Commission Internationale de l'Éclairage). Colorimetry, official recommendations of the international Commission on Illumination 2nd Ed. CIE 15.2; Paris, Bureau Central de la CIE 1985
- [37] Wolf N. Vergleich visueller und digitaler Zahnfarbenbestimmung bei Tageslicht und OP-Licht [Dissertation]. Jena: Friedrich-Schiller-Universität. 2014
- [38] Henning G. Tipps für fehlerfreie Farbbestimmung. Basel: Dr. Henning & Co. Dental Engineering; 1999.
- [39] Faber FJ. Die Bestimmung der Zahnfarbe. Wissenschaftliche Stellungnahme der deutschen Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde (DGZMK). Deutsche Zahnärztliche Zeitschrift. 2002; 57:448-449.)
- [40] Clark EB. Tooth Color Selection. The Journal of the American Dental Association. 1933; (20): 1065-73.)
- [41] Paravina RD, O'Neill PN, Swift EJ Jr., Nathanson D, Goodcare CJ. 2010. Teaching of color in predoctoral and postdoctoral dental education. The Journal of Prosthetic Dentistry. 2009; 38(2): e34-40.

- [42] Paul SJ, Kern M. Digitale Farbbestimmung. Vereinfacht der Computer die Farbbestimmung für Keramik? Quintessenz Zahntechnik. 2004; 30(6):610-618.
- [43] Khashayar G; Dozic A; Kleverlaan CJ; Feilzer AJ. Data comparison between two dental spectrophotometers. The Operative Dentistry 2012; 37 (1), S. 12–20.
- [44] Kourtis S. Die Verwendung von Easyshade und Spectroshade. Bewertung elektronischer Geräte zur Bestimmung der Zahnfarbe. Teamwork - Journal of Continuing Dental Education 2009; 12 (2), S. 232.
- [45] Weber T. Memorix Zahnmedizin, Georg Thieme Verlag Stuttgart, 3., vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage, ISBN: 978-3-13-114373-0; 466-470
- [46] 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):353-358
- [47] Bücking W. Die standardisierte Zahnfarbenbestimmung. Quintessenz Zahntechnik. 2006; 57 (7):733-743.
- [48] Devigus A. Die digitale Farbmessung in der Zahnmedizin. Quintessenz 2003; 54(5):495-500.)
- [49] Goldbecher H, Goldbecher C. Digitale Fotografie in der Kieferorthopädie. KN - Kieferorthopädie Nachrichten. 2015; Seiten.19-20
- [50] Baltzer, A. Kaufmann-Jinoian, V.: Die digitale Farbmessung der Zähne. Quintessenz Zahntechnik 2004b; 30, 8,; 834-854.
- [51] Ristić I, Paravina R. Color measuring instruments. Acta Stomatologica Naissi. 2009;25(60):925-32.
- [52] Baltzer A (): Die spektrophotometrische Farbmessung. Digital Dental News 2007a; Seiten 6–11.)
- [53] Riquier R. Zirkoniumdioxid ist gleich Zirkoniumdioxid. Quintessenz Zahntechnik 2009; 35:353-358.
- [54] Meyer V. Untersuchungen zum Einfluss von Modifikationen des Druck-Schertests nach Schmitz-Schulmeyer auf die Höhe der Messwerte sowie auf die Messwertstreuungen. Dissertation. Berlin: Freie Universität. 2001.
- [55] Marxkors R., Meiners H., Geis-Gerstorf J.: Taschenbuch der zahnärztlichen Werkstoffkunde. 2008Seite 168.

- [56] STRIETZEL, R. Die Werkstoffkunde der Metall-Keramik-Systeme. Verlag Neuer Merkur GmbH, München 2005
- [57] Eichner K., Kappert HF. Zahnärztliche Werkstoffe und ihre Verarbeitung, Band 1, Grundlagen und ihre Verarbeitung. 2005; Seite 330
- [58] CLAUS, H. Werkstoffkundliche Grundlagen der Dentalkeramik. Dental-Labor 1980 28:1743-1750
- [59] GEIS-GERSTORFER, J. Vom Rohstoff zur Dentalkeramik. Quintessenz Journal 1997;27: 35 – 43
- [60] HOHMANN, A; HIELSCHER, W. Lehrbuch der Zahntechnik. Quintessenz Verlag, , Berlin 2003; 72- 387
- [61] Pospiech, P. Keramik-Vollkeramik. Ein Kompendium für die keramikgerechte Anwendung vollkeramischer Systeme in der Zahnmedizin. Homburg: 3M Espe Sep 2004.
- [62] Sjogren G, Lantto R, Granberg A, Sundstrom BO, Tillberg A. Clinical examination of leucite-reinforced glass-ceramic crowns (Empress) in general practice: a retrospective study. The International journal of prosthodontics. 1999;12(2):122-8.
- [63] Geller W. Dark and shaded zones--one of the important aspects of the W. Geller creative color technic. Quintessenz Zahntechnik. Apr 1982;8(4):467-73.
- [64] Sailer I, Gottnerb J, Kanelb S, Hammerle CH. Randomized controlled clinical trial of zirconia-ceramic and metal-ceramic posterior fixed dental prostheses: a 3-year followup. The International Journal of Prosthodontics. Nov-Dec 2009;22(6):553-60.
- [65] Swain MV. Unstable cracking (chipping) of veneering porcelain on all-ceramic dental crowns and fixed partial dentures. Acta biomaterialia. 2009 Jun;5(5):1668-77.
- [66] Christensen RP, Ploeger BJ. A clinical comparison of zirconia, metal and alumina fixed-prosthesis frameworks veneered with layered or pressed ceramic: a three-year report. Journal of the American Dental Association Nov 2010;141(11):1317-29.
- [67] Pjetursson BE, Sailer I, Makarov NA, Zwahlen M, Thoma DS. All-ceramic or metalceramic tooth-supported fixed dental prostheses (FDPs)? A systematic review of the survival and complication rates. Part II: Multiple-unit FDPs. Dental Materials. Jun 2015 ;31(6):624-39
- [68] Sailer I, Pjetursson BE, Zwahlen M, Hammerle CH. A systematic review of the

survival and complication rates of all-ceramic and metal-ceramic reconstructions after an observation period of at least 3 years. Part II: Fixed dental prostheses. *Clinical Oral Implants Research* 2007 Jun;18 Suppl 3:86-96.

[69] Della Bona A, Kelly JR. The clinical success of all-ceramic restorations. *Journal of the American Dental Association*. Sep 2008;139 Suppl:8S-13S

[70] POSPIECH, P, (2002): Klinische und technische Erfahrungen mit Vollkeramiken. *Dental-Praxis* 9/10: 255 – 257

[71] Tinschert J, Natt G (Hrsg): *Oxidkeramiken und CAD/CAM-Technologien: Atlas für Klinik, Labortechnik und Werkstoffkunde*. Deutscher Zahnärzte Verlag 2007: 65, 254

[72] KUNZELMANN, KH; POSPIECH, P; KERN, M, Hat sich Vollkeramik bewährt? Eine Positionspielung in der Kons und Prothetik. *Dentalfresh*, 2007

[73] Bachhav VC, Aras MA. The effect of ceramic thickness and number of firings on the color of a zirconium oxide based all ceramic system fabricated using CAD/CAM technology. *The journal of advanced prosthodontics*. 2011 Jun;3(2):57-62.

[74] Paravina RD, Johnston WM, Powers JM. New shade guide for evaluation of tooth whitening--colorimetric study. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*. 2007;19(5):276-83;

[75] Awad D, Stawarczyk B, Liebermann A, Ilie N. Translucency of esthetic dental restorative CAD/CAM materials and composite resins with respect to thickness and surface roughness. *Journal of Prosthetic Dentistry*. 2015 Jun;113(6):534-4

[76] Dede DÖ, Sahin O, Özdemir OS, Yilmaz B, Celik E, Köroğlu A. Influence of the color of composite resin foundation and luting cement on the final color of lithium disilicate ceramic systems. *Journal of Prosthetic Dentistry*. 2017 Jan;117(1):138-143

[77] Obregon, A., R.J. Goodkind, and W.B. Schwabacher, Effects of opaque and porcelain surface texture on the color of ceramometal restorations. *Journal of Prosthetic Dentistry*. 1981. 46(3): p. 330-40.

[78] Chu SJ, Trushkowsky RD, Paravina RD. Dental color matching instruments and systems. Review of clinical and research aspects. *Journal of Dentistry*. 2010;38 Suppl 2:e2-16.

[79] Kilinc H, Turgut S. Optical behaviors of esthetic CAD-CAM restorations after different surface finishing and polishing procedures and UV aging: An in vitro study. *Journal of Prosthetic Dentistry*. 2018;

[80] Azer S, Rosenstiel S, Seghi R, Johnston W. Effect of substrate shade on the color of ceramic laminate veneers. *Journal of Prosthetic Dentistry*. 2011; 106: 179-183

- [81] Al Ben Ali A, Kang K, Finkelman MD, Zandparsa R, Hirayama H. The effect of variations in translucency and background on color differences in CAD/CAM lithium disilicate glass ceramics. *The Journal of Prosthodontics*. 2014 Apr;23(3):213-20
- [82] Craig R.G, Powers J, Wataha. *Zahnärztliche Werkstoffe: Eigenschaften und Verarbeitung*. Elsevier Urban & Fischer Verlag München, ISBN: 3-437-05126-1; 132
- [83] Ivoclar Vivadent Wissenschaftliche Dokumentation Variolink Esthetic. Das ästhetische Befestigungskomposite. Ausgabe: November 2014 Aktualisierung: August 2018
- [84] Haller B, Blunck U Übersicht und Wertung der aktuellen Bondingsysteme. *Zahnärztl Mitteilung* 2003; 7:48-58
- [85] Burgess, J.O., Ghuman T., and Cakir D. Self-adhesive resin cements. *Journal of esthetic and restorative dentistry* 2010. 22(6): p. 412-9.
- [86] Ferracane, J.L., Stansbury J.W., and Burke F.J.T., Self-adhesive resin cements—chemistry, properties and clinical considerations. *Journal of oral rehabilitation*, 2011. 38(4): p.295-314
- [87] Moszner, N., Salz U., and J. Zimmermann, Chemical aspects of self-etching enamel-dentin adhesives: a systematic review. *Dental Materials*, 2005. 21(10): p. 895-910.
- [88] Grothen M, Pröbster L: The influence of different cementation modes on the fracture resistance of feldspatic ceramic crowns. *The International Journal of Prosthodontics* 1997; 10, 169.
- [89] Chu FC, Chow TW, Chai J. Contrast ratios and masking ability of three types of ceramic veneers. *The Journal of Prosthetic Dentistry*. 2007 Nov;98(5):359-64
- [90] Vichi A, Ferrari M, Davidson CL. Influence of ceramic and cement thickness on the masking of various types of opaque posts. *The Journal of Prosthetic Dentistry*. 2000 Apr;83(4):412-7
- [91] Schweiger J, Kieschnick A: *CAD/CAM in der digitalen Zahnheilkunde*. Fuchstal: Teamwork Media; 2017
- [92] Schweiger J: *Rapid Prototyping - Neue Fertigungswege in Zahntechnik und Zahnmedizin*. *Digital Dental News* 2008, 2:36-41.
- [93] Miyazaki T, Hotta Y, Kunii J, Kuriyama S, Tamaki Y: A review of dental CAD/CAM: current status and future perspectives from 20 years of experience. *Dental materials journal* 2009, 28(1):44-56

- [94] Pospiech P: Materialien für die CAD/CAM-Technik: Die Qual der Wahl. ZMK 2014, 30(5):250-256
- [95] Davidowitz G, Kotick PG: The use of CAD/CAM in dentistry. Dental clinics of North America 2011, 55(3):559-570
- [96] Schweiger J, et al.: Auswechselbare Verblendungen durch makroretentive Verbundkronen und -brücken - Ein neuer Ansatz in der Implantatversorgung. Quintessenz 2014, 65(10):1229-1238.
- [97] Rech A (Hrsg): Vollkeramik Band 1. Luthardt R.: Das Precident-DCS-System®. Stand und Perspektiven der Bearbeitung von Zirkondioxid-Keramik. Verlag Neuer Merkur 2002: 191-197
- [98] Stritzel R, Lahl C: CAD/CAM-Systeme in Labor und Praxis. Verlag Neuer Merkur GmbH 2007:11ff
- [99] VITA Vitablocs Real Life Produktinformation, 1675D-0618 (1) Version 04,
- [100] Kern M., Kohal R.J., Mehl A., Pospiech P., Frankenberger, R. Reiss B., Wiedhahn K., Kunzelmann K.H. Vollkeramik auf einen Blick. 5. deutsche Auflage 2012 Online-Spezial. Leitfaden zur Indikation, Werkstoffauswahl, Vorbereitung und Eingliederung von vollkeramischen Restaurationen. Arbeitsgemeinschaft für Keramik in der Zahnheilkunde e.V. ISBN 3-00-017195-9 S. 79-81.
- [101] IPS Empress CAD® Wissenschaftliche Dokumentation Ausgabe: Oktober 2011
- [102] Ivoclar Vivadent; Schaan, Liechtenstein: Wissenschaftliche Dokumentation IPS Empress CAD® (Wissenschaftliche Dokumentation IPS Empress CAD) (Stand 05.10.2016)
- [103] Datzmann G.: CEREC VITABLOCS Mark II Machinable Ceramics. in: Mörmann W.H.: CAD/CAM in Esthetic Dentistry. Quintessence, Seiten 205-215 (1996)
- [104] Ivoclar Vivadent technical. IPS e.max Press. Verarbeitungsanleitung 04/2007 S.12
- [105] Wissenschaftliche Dokumentation Variolink® II / Variolink® Veneer. Ausgabe August 2005
- [106] VITA Zahnfabrik; Bad Säckingen, Deutschland: VITA Easyshade® Advance 4.0 Bedienungsanleitung https://www.vita-zahnfabrik.com/de/VITA-Easyshade-Downloads-Altgeraete-39507_27568.html (Auswahl Bedienungsanleitung Nr. 1506/2 VITA Easyshade® Advance 4.0) (Stand 05.10.2016)
- [107] Heintze SD, Rousson V. Fracture rates of IPS Empress all-ceramic crowns – a systematic review. The International Journal of Prosthodontics. 2010;23(2):129-33

- [108] Dozic A, Kleverlaan CJ, Meegdes M, van der Zel J, Feilzer AJ. The influence of porcelain layer thickness on the final shade of ceramic restorations. *The Journal of Prosthetic Dentistry*. 2003 Dec;90(6):563-70.
- [109] Hoffmann A. Systematische Erforschung und Analyse der Zahnfarbe, Zahnfarbmessung und dentaloptischer Phänomene. 3. Auflage. Dinslaken: Athene Media Verlagsgesellschaft; 2013.
- [110] Chen H, Huang J, Dong X, Qian J, He J, Qu X, Lu E. A systematic review of visual and instrumental measurements for tooth shade matching. *Quintessence International*. 2012 Sep; 43(8):649-59
- [111] Parameswaran V, Anilkumar S, Lylajam S, Rajesh C, Narayan V. Comparison of accuracies of an intraoral spectrophotometer and conventional visual method for shade matching using two shade guide systems. *The Journal of Indian Prosthodontic Society*. 2016; 16:352-8
- [112] Chang JY, Chen W, Huang TK, Wang J, Fu PS, Chen JH, Hung CC. Evaluation of the accuracy and limitations of three tooth-color measuring machines. *Journal of Dental Sciences*. 2015; 10:16-20
- [113] Olms C, Setz JM. The repeatability of digital shade measurement-a clinical study. *The journal Clinical Oral Investigations*. 2013. 17(4):1161-1166.
- [114] Douglas RD. Precision of in vivo colorimetric assessments of teeth. *The Journal of Prosthetic Dentistry* 1997 May;77(5):464-70
- [115] Kim-Pusateri S, Brewer J, Davis E, Wee A. Reliability and accuracy of four dental shade-matching devices. *The Journal of Prosthetic Dentistry*. March 2009; 101(3);193-199.
- [116] Lehmann K. Comparison of visual shade matching and electronic color measurement device: Department of Prosthodontics, Johannes Gutenberg University Mainz, Germany; 2017
- [117] Leibrock, A., Rosentritt, M., Behr, M. , Güray, N. , Handel, G.: Einflüsse unterschiedlicher Messparameter auf die metrische Farbbestimmung mit dem Spektralfarbmessgerät CastorTM. *Deutsche Zahnärztliche Zeitschrift*. 50, 9, 1995; 664-667
- [118] Okubo SR, Kanavati A, Richards MW, Childress S. 1998. Evaluation of visual and instrument shade matching. *The Journal of Prosthetic Dentistry*. 80 (6):642-648
- [119] Faber, F.-J., Schlegel, G.: Einfluß von Farbtüchtigkeit, Geschlecht und Beruf auf die Zahnfarbauswahl. *Deutsche Zahnärztliche Zeitschrift*. 54, 4, 1999; 281-283

- [120] Sekhri S, Mittal S, Garg S. Tensile Bond Strength of Self Adhesive Resin Cement after Various Surface Treatment of Enamel. *Journal of clinical and diagnostic Research*. January 2016; 10(1); 01-04
- [121] Tian T, Tsoi JK, Matinlinna JP, Burrow MF. Aspects of bonding between resin luting cements and glass ceramic materials. *Dental Materials Journal*. July 2014; 30(7); 147-162
- [122] Chen X, Zhang S, Xing W, Zhan K, Wang Y. Evaluation of the esthetic effect of resin cements on the final color of ceramic veneer restorations. *The Chinese Journal of Stomatology*. 2015 Feb;50(2):95-8.
- [123] Xu MM, Zhang F, Liu F, Yang YD, Gu LY. Comparison of color and translucency between resin and try-in paste with same number. *The Chinese Journal of Stomatology*. 2010 Dec;45(12):759-62.
- [124] Boaventura JM, Nishida R, Elossais AA, Lima DM, Reis JM, Campos EA, de Andrade MF. Effect finishing and polishing procedures on the surface roughness of IPS Empress 2 ceramic. *Acta Odontologica Scandinavica* 2013.PMID: 22724660
- [125] Salameh Z, Tehini G, Ziadeh N, Ragab HA, Berberi A, Aboushelib MN. Influence of ceramic color and translucency on shade match of CAD/CAM porcelain veneers. *International Journal of Esthetic Dentistry* 2014 Spring;9(1):90-7.
- [126] Chaiyabutr Y, Kois JC, LeBeau D, Nunokawa G. Effect of abutment tooth color, cement color, and ceramic thickness on the resulting optical color of a CAD/CAM glass-ceramic lithium disilicate-reinforced crown. *The Journal of Prosthetic Dentistry*. 2011;105(2):83-90.
- [127] Hobkirk JA, Wiskott HW. Ceramics in implant dentistry (Working Group 1). *Clinical Oral Implants Research*. 2009 Sep;20 Suppl 4:55-7.
- [128] Heffernan MJ, Aquilino SA, Diaz-Arnold AM, Haselton DR, Stanford CM, Vargas MA. Relative translucency of six all-ceramic systems. Part II: core and veneer materials. *The Journal of Prosthetic Dentistry* 2002 Jul;88(1):10-5.
- [129] Shono NN, Al Nahedh HN. Contrast ratio and masking ability of three ceramic veneering materials. *Operative Dentistry*. 2012 Jul-Aug;37(4):406-16.
- [130] Niu E, Agustin M, Douglas RD. Color match of machinable lithium disilicate ceramics: Effects of cement color and thickness. *The Journal of Prosthetic Dentistry*. 2014 Jan;111(1):42-50.
- [131] Dozic A, Tsagkari M, Khashayar G, Aboushelib M. Color management of porcelain veneers: influence of dentin and resin cement colors. *Quintessence International*. 2010;41(7).

- [132] Chang J, Da Silva JD, Sakai M, Kristiansen J, Ishikawa-Nagai S. The optical effect of composite luting cement on all ceramic crowns. *Journal of Dentistry*. 2009 Dec;37(12):937-43.
- [133] Spear F, Holloway J. Which all-ceramic system is optimal for anterior esthetics? *The Journal of the American Dental Association* (1939). 2008 Sep;139 Suppl:19S-24S
- [134] Seghi RR, Johnston WM, O'Brien WJ. Spectrophotometric analysis of color differences between porcelain systems. *The Journal of Prosthetic Dentistry*. 1986 Jul;56(1):35-40.
- [135] Ferraris G. Influence of posts and cores on light transmission through different all-ceramic crowns: spectrophotometric and clinical evaluation. *The International Journal of Prosthodontics*. 2001;14(1):9.
- [136] IPS® Natural Die Material Kurzanleitung. Ivoclar Vivadent technical Date information prepared: 2017-01, Rev. 0 688634/d/e
- [137] VITABLOCS Verarbeitungsanleitung 1769D – 1016 (X.) S – Version (04)13

Lebenslauf

Persönliche Daten

Name: Anna Pahl geb. Holzmann

Geburtsdatum: 14.02.1983

Geburtsort: Barnaul/ Russland

Schulbildung:

1989-1992 Grundschule in Kobsarzy/Ukraine

1992-1994 Gesamtschule in Zelinnij/Russland

1994-2000 Realschule-Eberbach in Eberbach

2000-2003 Wirtschaftsgymnasium

Willy.Hellpach-Schule in Heidelberg

Juli 2003 Erwerb der Allgemeinen Hochschulreife

Berufsausbildung:

2003-2007 Medizinstudium an der
Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg

2007-2012 Zahnmedizinstudium an der
Johannes Gutenberg-Universität Mainz

November 2012 Zahnärztliche Prüfung (Staatsexamen)

Beruflicher Werdegang

Februar 2013 Approbation als Zahnärztin

2013-2015 Zahnärztin in einer Zahnarztpraxis in Ludwigshafen

2015-2019 Zahnärztin in einer Zahnarztpraxis in Ludwigshafen

Seit 2019 Zahnärztin in einer Zahnarztpraxis in Grünstadt