

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

In vitro Modell zur Analyse unterschiedlicher Einflussfaktoren auf die Farbrealisation
monolithischer Lithium-Disilikat-Kronen und Farbveränderung an der Gingiva durch
Verwendung verschiedener Zirkondioxidabutments im Vergleich zu Titanabutments.

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

Vorgelegt von

Christina Elisabeth Rauch
aus Schwetzingen

Mainz, 2020

Tag der Promotion:

08. Dezember 2020

Inhalt

1. Einleitung.....	5
2. Literaturdiskussion.....	7
2.1 Implantate im ästhetisch anspruchsvollen Frontzahnggebiet.....	7
2.1.1 Allgemeiner Aufbau	7
2.1.2 Indikationen	7
2.1.3 Systeme	8
2.1.4 Klinische Bewährung.....	9
2.2 Vollkeramiksysteme auf Implantaten.....	12
2.2.1 Allgemeine Einteilung	12
2.2.2 Vollkeramik-Systeme.....	12
2.2.3 Klinische Bewährung.....	14
2.3 Physikalische Grundlagen der Farbmeterik	18
2.4 Stellenwert der Farbe in der Zahnmedizin	20
2.4.1 Zahnfarbenbestimmung und Kommunikation	20
2.4.2 Reproduktion der Zahnfarbe.....	21
2.4.3 Bestimmung der Schleimhautfarbe.....	26
3. Material.....	33
3.1 Geräte	33
3.2. Instrumente	33
3.3. Verbrauchsmaterialien	34
3.4 Software	35
3.5 In-vitro-Modell	35
3.6 Implantatgetragene Versorgung.....	36
3.7 Restauration.....	37
3.8 Herstellung der Kronen	38
3.9 Herstellung der Schleimhautmaske.....	40
3.10 Einsetzmaterialien.....	41
3.11 VITA Easyshade advance 4.0.....	41

4. Methode.....	43
4.1 Versuchsaufbau Abutment.....	43
4.2 Versuchsaufbau Schleimhautmaske.....	43
4.3 Spektralfotometrische Analyse.....	44
4.4 Statistische Auswertung.....	44
5. Auswertung.....	47
5.1 Auswerten der Messergebnisse.....	47
5.1.1 Einfluss der Keramikstärke auf die Farbdifferenz ΔE	47
5.1.2 Einfluss der Zementfarbe auf die Farbdifferenz ΔE	48
5.1.3 Einfluss der Keramikfarbe auf die Farbdifferenz ΔE	48
5.1.4 Einfluss der Abutmentfarbe auf die Farbdifferenz ΔE	49
5.1.5 Einfluss der Schleimhautstärke auf die Farbdifferenz ΔE	50
6. Diskussion.....	52
6.1 Methodenorientierte Diskussion.....	52
6.1.1 Versuchsaufbau.....	52
6.2 Ergebnisorientierte Diskussion.....	54
6.2.1 Einfluss der Keramikstärke.....	54
6.2.2 Einfluss der Zementfarbe.....	56
6.2.3 Einfluss der Keramikfarbe.....	57
6.2.4 Einfluss der Abutmentfarbe.....	58
6.2.5 Einfluss der Schleimhautstärke.....	59
7. Zusammenfassung.....	61
8. Literaturverzeichnis.....	64

1. Einleitung

In den vergangenen 20 Jahren war der Fortschritt der Implantationstechnik und der verwendeten Materialien immens [1, 2, 3, 4]. Es gibt zahlreiche Studien über die Wiederherstellung von Funktion und Ästhetik durch Insertion eines Implantats nach Verlust eines einzelnen Zahnes [5, 6, 7, 8]. Da inzwischen große Erfolge bei der Wiederherstellung der Funktion eines Einzelzahnimplantates verzeichnet werden können, konzentriert sich zunehmend der implantologische Fortschritt auf das ästhetische Ergebnis [9].

Die Ästhetik eines Implantates in der Frontzahnregion hängt von vielen Faktoren ab. Zu diesen Faktoren gehören die Implantatposition und Neigung, die Form, Farbe und Material des Abutments und der Restauration und die Anatomie des periimplantären Gewebes [10, 11]. Das periimplantäre Gewebe zählt hierbei zu den wichtigsten Kriterien, um ein möglichst schönes ästhetisches Ergebnis in der anterioren Frontzahnregion zu erzielen. Hierbei ist auf die Farbe und die Dicke der Mukosa zu achten [12]. Bei Furhäuser et al. und dem „Pink Esthetic Score (PES)“ ist die Farbe des umliegenden Gewebes das wichtigste Kriterium [12, 13]. Bei Sailer et al. ist die Stärke der Gingiva das wichtigste Entscheidungskriterium für ein optimales Ergebnis [12, 14]. Der „White Esthetic Score“ (WES) beschäftigt sich mit der Suprakonstruktion des Implantats [15]. Hierbei ist die Oberflächenstruktur, die Farbe und Transluzenz der Krone sehr wichtig. Das menschliche Auge nimmt die Farbe eines transluzenten Materials als eine Kombination von inneren und äußeren Reflexionen eines Objekts wahr. Die inneren Reflexionen werden hauptsächlich von der Stärke des transluzenten Objekts bestimmt [12]. Meijer et al. publizierte einen neuen Index für die ästhetische Beurteilung implantatgetragener Einzelzahnkronen. Dieser „Implant Crown Aesthetic Index“ (ICA) beurteilt die Krone und das umliegende Gewebe [16, 17].

In der heutigen Gesellschaft legen Patienten sehr großen Wert auf ästhetischen Zahnersatz. Zahnfarbene Abutments, unter anderem aus Zirkondioxid hergestellt, wurden entwickelt, um das dunkle Durchschimmern der Titanabutments bei geringer Keramikstärke der Suprakonstruktion zu vermeiden. Da es bei einer Implantation im anterioren Frontzahngebiet nicht nur auf die umliegende Gingiva und die Krone für ein optimales ästhetisches Ergebnis ankommt, sondern auch auf das

darunterliegende Abutment, beschäftigt sich diese Dissertation mit der Auswirkung verschiedener Einflussfaktoren auf die obengenannten Strukturen. Hierbei wird die Farbrealisation monolithischer Lithium-Disilikat-Kronen in verschiedenen Stärken und Zahnfarben mit unterschiedlichen Einsetzzementen und Abutmentmaterialien untersucht. Des Weiteren wird in dieser Studie die Farbveränderung an der Gingiva durch verschiedene Abutmentmaterialien bei abweichenden Gingivastärken analysiert.

2. Literaturdiskussion

2.1 Implantate im ästhetisch anspruchsvollen Frontzahngebiet

2.1.1 Allgemeiner Aufbau

Ein Implantat dient dem Ersatz eines einzelnen Zahnes oder mehrerer Zähne. Implantate werden hergestellt aus Titan, einer Titanlegierung oder Zirkondioxid. Das Implantat besteht aus dem Teil, der in den Knochen inseriert wird, einem Abutment, das aus dem Implantat in die Mundhöhle ragt und der Krone. Das Implantat wird bei ausreichend vorhandenem vertikalem und horizontalem Knochenangebot in den Kiefer inseriert. Das Implantat verwächst durch Osseointegration mit dem Kieferknochen. Eine Osseointegration beinhaltet eine direkte strukturelle und funktionelle Verbindung zwischen Kieferknochen und Implantat ohne Anlagerung von Bindegewebe [19]. Eine erfolgreiche Osseointegration hängt von folgenden Faktoren ab: Sterile, gekühlte Bohrung im Knochen, ausreichende Primärstabilität des Implantats, Verwendung eines passgenauen Implantats mit spezifischer Osteoblasten-freundlicher Oberfläche, Blutzirkulation im Bereich des Implantatbettes, und eine unbelastete, infektionsfreie Einheilungsphase von 3-6 Monaten [18, 19].

2.1.2 Indikationen

Indikationen für ein Implantat sind laut der Deutschen Gesellschaft für Zahn-,Mund- und Kieferheilkunde (DGZMK) klinische Situationen, die ohne ein Implantat nicht funktionell befriedigend versorgt werden können und bei denen die implantatgestützte Versorgung gegenüber der konventionellen Versorgung funktionelle Vorteile bietet [20]. Außerdem gehören zu den Indikationen große Zahnlücken, verkürzte Zahnreihen, zahnloser Ober- oder Unterkiefer sowie Einzelzahnersatz [21]. Eine absolute Indikation stellt die Frontzahnlücke bei ausreichendem Knochenangebot und Unversehrtheit der Nachbarzähne dar [22]. Bei Frontzahnimplantation ist neben dem vorliegenden Knochenangebot auf die Position des Implantates, auf das Weichgewebe und auf den Erhalt des Zahnfleischsaums sowie der Papille zu achten [23]. Einer Indikation für ein Frontzahnimplantat geht immer eine umfangreiche Diagnostik am Patienten voraus. Für eine umfassende Beurteilung kann die Studie von Gehrke et al. zu Hilfe gezogen werden. Sie unterteilt

sich in patientenspezifische, chirurgische und prothetische Faktoren. Die Lachlinie, die Okklusion, der interdentale und interokklusale Abstand, der parodontale Biotyp, die Morphologie der Gingiva und die räumliche Ausrichtung gehören zu den patientenspezifischen Faktoren. Die dreidimensionale Position des Implantates, Weichgewebsmanagement, Knochenangebot und den Zugang zum Implantationsgebiet zählen zu den chirurgischen Faktoren. Die prothetischen Faktoren umfassen die Morphologie, die Proportion und die Farbe der Krone, die Form, Textur und Farbe des Weichgewebes und die prothetischen Komponenten des Materials [24]. Diese 3 Faktoren beeinflussen maßgebend das ästhetische Ergebnis und sollten vor der Implantatinsertion diagnostisch abgeklärt werden, um ein optimales Ergebnis erzielen zu können. Relative Kontraindikationen für dentale Implantate können schwere Allgemeinerkrankungen wie Autoimmun-, Herz-, Kreislauf-, Stoffwechsel- oder Knochenerkrankungen sein. Diese können zu Komplikationen bei der Osseointegration und der Ästhetik führen, wenn die Krankheit nicht therapeutisch eingestellt ist. Ebenso zählen eine unzureichende Mundhygiene und mangelnde Compliance zu den Kontraindikationen für Zahnimplantate [25].

2.1.3 Systeme

Es existieren zahlreiche Implantatsysteme, die sich in ihrer Form, Beschichtung und Verarbeitung unterscheiden lassen. Die Form der Implantate unterscheidet sich in zylinder-, konus- oder wurzelförmig [26, 27]. Es gibt einteilige Implantatsysteme, bei denen das Implantat und das Abutment aus einem Teil bestehen. Dieses System besitzt keinen Spalt zwischen Abutment und Implantat und kann einen kleineren Durchmesser besitzen, wodurch sie in kleine Lücken und bei geringem Knochenangebot inseriert werden können. Ein Nachteil dieses Implantatsystems ist, dass der Aufbau nur durch intraorale Präparation individualisiert werden kann und somit die Suprakonstruktion nur bedingt patientenspezifisch ausgerichtet werden kann. Ein weiterer Nachteil ist die fehlende Möglichkeit der subgingivalen Einheilung. Somit finden diese Systeme nur Anwendung bei Schattlücken und einer ausreichenden Knochendichte [28]. Das zweiteilige System besteht aus einem Implantat und einem separaten Abutment. Eine weitere Einteilung lässt sich in selbstschneidende und nicht selbstschneidende Implantate vornehmen. Selbstschneidende Implantattypen können bei der Sofortimplantation oder bei

weichen Knochenstrukturen verwendet werden. Das selbstschneidende Implantat schneidet beim Eindrehen in den Knochen gleichzeitig das Gewinde, was auch zu einer hohen Primärstabilität führen kann [27].

2.1.4 Klinische Bewährung

Laut einer Studie von Albrektsson et al. haben Titanimplantate eine 5-Jahres-Überlebensrate von 97,7% und eine 10-Jahres-Überlebensrate von 94,9% [29]. Die 5-Jahres-Überlebensrate von Zirkondioxidimplantaten liegt laut Andrea Enrico Borgonovo et. al. bei 95% [30]. In einer Untersuchung von Payer et al. wurden zweiteilige Implantatsysteme untersucht. Es wurden 16 Zirkondioxidimplantate und 15 Titanimplantate inseriert, die später mit Keramikabutments und Vollkeramikronen versehen wurden. Nach einer Kontrollzeit von 24 Monaten zeigte sich für das Zirkondioxidimplantat eine Überlebensrate von 93,3% und 100% für das Titanimplantat, was keinen signifikanten Unterschied ergab. Der marginale Knochenverlust nach Implantation hinsichtlich des Materialvergleichs zeigte ebenso keinen signifikanten Unterschied [31]. In einer Zusammenfassung von 17 Studien (2006–2011) über 1675 Zirkondioxidimplantaten von Deprich et al. lag die Überlebensrate zwischen 74% und 98% nach 12-56 Monaten [32]. Buch et al. untersuchte 508 Implantate mit einer durchschnittlichen Liegedauer von 3,5 Jahren. Die Überlebensrate der hier untersuchten Implantate schwankte zwischen 75% und 89%. Der Grund hierfür ist eine nicht einheitliche Definition des Implantaterfolges. Es existieren mehrere Kriterien zur Beurteilung des Erfolges unterschiedlicher Implantate. Die Erfolgsrate lag laut den Kriterien von Albrektsson et al. höchstens bei 88%, bei Naert bei 89%, bei der National Institute of Health (NIH) bei 85%, bei Jahn und d’Hoedt bei 75% und bei Buser et al 88%. Die Kaplan-Meier-Analyse ergab eine 6 Jahres-Überlebenswahrscheinlichkeit von 93% [33]. Die Ergebnisse der oben genannten Studien sind unterschiedlich, doch zeigen sie alle, dass eine Implantation eine Alternative zu anderen prothetischen Versorgungen mit guten Langzeitprognosen darstellt.

Neben einem Verlust des Implantates gibt es weitere Risikofaktoren bei der Implantation in der ästhetisch anspruchsvollen Frontzahnregion. Eine hohe Lachlinie, wie sie bei etwa 10% der Bevölkerung auftritt, stellt ein höheres ästhetisches Risiko dar als eine niedrige oder mittlere Lachlinie [34]. Rezessionen, Papillenverlust oder

das Fehlen eines harmonischen marginalen Randsaums fallen bei diesen Patienten sehr schnell auf. Ein weiterer patientenbezogener Risikofaktor stellt der Biotyp der vorhandenen Gingiva dar. Laut einer Studie von Müller et al. liegt bei 75 % der Patienten ein Gingivabiotyp mit einer Mukosastärke von weniger als 1mm vor, während 25% der Patienten eine Gingivastärke von mehr als 1mm aufweisen [35]. Patienten mit geringer Gingivastärke neigen nach Implantation zu einem Verlust oder Vernarbung der umliegenden Gingiva [34].

Das International Team for Implantology (ITI) entwickelte einen Fragenkatalog zur Risikoklassifizierung von Implantaten, die sogenannte SAC-Klassifikation. Diese Klassifikation gibt Auskunft über die Komplexität eines individuellen Patientenfalls durch Einstufung von allgemeinen, ästhetischen, chirurgischen und restaurativen Risikofaktoren. In die allgemeinen Einflussfaktoren werden die klinische Kompetenz und Erfahrung des Behandlers, die gesundheitlichen Defizite des Patienten, die Besonderheiten der Wachstumsphase und iatrogene Faktoren miteinbezogen. Der Gesundheitszustand, die ästhetischen Erwartungen, Lachlinie, gingivaler Biotyp und das Volumen des umliegenden Weichgewebes werden zur Beurteilung der ästhetischen Einflussfaktoren benötigt. Zu den chirurgischen Einflussfaktoren zählen das Knochenangebot, anatomisches und ästhetisches Risiko, Komplexität und Komplikationen. Die restaurativen Einflussfaktoren beinhalten die allgemeine zahnmedizinische Gesundheit, restauratives Volumen, Volumen des zahnlosen Sattels, Okklusion, provisorischer Zahnersatz, Belastungsprotokoll, restaurative Materialien, Herstellungsmethode und Erhaltungsaufwand. Es wird am Ende dieses Fragenkatalogs in 3 Einteilungen unterschieden: Straightforward (einfach), Advanced (fortgeschritten) und Complex (komplex) [36, 37]. Diese Klassifikation soll den Zahnärzten, unter Einbezug aller Risikofaktoren, helfen, eine Implantation erfolgreich durchführen zu können. Da eine erfolgreiche Insertion in der Frontzahnregion mit vielen ästhetischen Risikofaktoren einhergeht, kann diese Klassifikation zur Erleichterung einer Behandlungsplanung dienen.

Tabelle 1: SAC Klassifikation [37]

<p>SAC-Level (Straightforward, Advanced, Complex) - Klassifikation der chirurgischen und restaurativen Fälle:</p>
<p>S-Level:</p> <ul style="list-style-type: none">• Der chirurgische Prozess erscheint unkompliziert mit minimalem chirurgischem Risiko• Das anatomische Risiko ist minimal• Minimale postoperative Komplikationen werden erwartet• Minimales ästhetisches Risiko: Nicht im ästhetischen Bereich, daher kein ästhetisches Risiko• Die prothetische Versorgung erscheint unkompliziert und benötigt nur wenige Schritte• Das prothetische Ergebnis ist vorhersehbar• Geringes Risiko von Komplikationen
<p>A-Level:</p> <ul style="list-style-type: none">• Eine größere Herausforderung beim chirurgischen Prozess wird erwartet• Die Nähe zu wichtigen anatomischen Strukturen könnte die Schwierigkeit der Implantation erhöhen• Erhöhtes Risiko von postoperativen Komplikationen• Moderates bis hohes ästhetisches Risiko• Erkennbares ästhetisches Risiko• Die prothetische Versorgung erfordert mehrere Schritte, aber das Ergebnis ist vorhersehbar• Das prothetische Ergebnis ist genau visualisierbar• Das Risiko von Komplikationen ist gering bis mäßig
<p>C-Level:</p> <ul style="list-style-type: none">• Der chirurgische Prozess erscheint kompliziert• Die Nähe zu den wichtigen anatomischen Strukturen erhöht die Schwierigkeit und das Risiko der Implantation• Die chirurgischen Herausforderungen an den Chirurgen und sein Team sind hoch• Hohes Risiko von chirurgischen Komplikationen• Hohes ästhetisches Risiko• Das ästhetische Risiko ist mittel bis hoch• Die prothetische Versorgung beinhaltet verschiedene Phasen. Es kann zu Neubewertungen als Folge von Veränderungen innerhalb der Behandlung kommen• Das prothetische Ergebnis kann nicht verlässlich vor der Behandlung bestimmt werden• Das Risiko von Komplikationen ist hoch und mehrfache Modifikationen des Behandlungsplans sind eventuell zur Lösung notwendig. Das langfristige Ergebnis kann durch notwendige Kompromisse, hervorgerufen durch diese Komplikationen, beeinflusst sein• Detaillierte Koordination, Kommunikation und Ordnung der Behandlungsabläufe zwischen dem behandelnden Zahnarzt, dem Chirurgen und dem Zahntechniker sind grundlegend für den Erfolg• Der Patient muss die Möglichkeit eines nicht optimalen Behandlungsergebnisses verstehen und akzeptieren

2.2 Vollkeramiksysteme auf Implantaten

2.2.1 Allgemeine Einteilung

Ein Vollkeramiksystem auf einem Implantat besteht aus einem Keramikabutment und einer Keramikkrone. Das Abutment, mit einer Halteschraube im Zentrum, dient als Verbindung von Implantat zu Krone. Vollkeramikabutments bestehen aus Zirkondioxid, normalerweise verfügbar in 3-5M% Yttrium-stabilisiertem tetragonalem Polykristall [38]. Das Implantat kann aus Titan oder ebenfalls Zirkondioxid hergestellt sein. Das früher verwendete Aluminiumoxid wird wegen hoher Bruchanfälligkeit in der heutigen Zahnmedizin nur noch selten verwendet [39]. Die Abutments kann man in konfektionierte und individualisierte Abutments unterteilen. Die konfektionierten Abutments finden Verwendung bei physiologischer Anatomie und Zahnachse. Es besteht die Möglichkeit über CAD/CAM-Verfahren Zirkondioxidabutments individuell, auf jeden einzelnen Patienten angepasst, herzustellen. Ebenso besteht die Möglichkeit ein Titanabutment zu verwenden, das mit einem individualisierten Zirkondioxidaufbau verklebt werden kann. Vor einigen Jahren waren Zirkondioxidabutments nur in weißer Farbe erhältlich. Mittlerweile können die Abutments auch eingefärbt werden, womit eine dentinähnliche Farbe erreicht werden kann.

2.2.2 Vollkeramik-Systeme

Zur Rekonstruktion verlorengegangener Zahnhartsubstanz stehen verschiedene Keramiken zur Verfügung. Hierbei unterscheidet man zwischen Keramiksystemen, die nur aus einer Schicht bestehen (Monolith-/ Presskeramik) und der Kombination zwischen einem hochfesten Keramikgerüst und einer Verblendkeramik. Die klinische Indikation richtet sich nach dem Bedarf der strukturellen Rekonstruktion, sodass bei Inlay-, Onlay- und Veneer- Restaurationen vorwiegend monolithische Glaskeramiken bzw. Presskeramiken eingesetzt werden. Ein hochfestes Gerüstmaterial wird hingegen bei Kronen und Brücken verwendet, wenn der Rekonstruktionsaufwand hoch ist oder stark verfärbte Zahnstümpfe maskiert werden müssen. Dabei unterscheiden sich die Herstellungsmethoden der hochfesten Vollkeramiken. Hierbei muss man die durchgesinterte von der halbgesinterten Keramik unterscheiden. Eine dritte Variante ist die des Grünlings. In diesem Zustand

ist das Zirkondioxid komplett ungesintert und in einem kreide-ähnlichen, porösen Zustand. Zirkondioxidkeramik im durchgesinterten Zustand ist sehr schwer zu bearbeiten [40]. Es werden spezielle Maschinen mit einer hohen Steifigkeit für die Bearbeitung benötigt. Außerdem entstehen lange Schleifzeiten und ein entsprechend hoher Werkzeugverbrauch. Aus diesem Grund wurden Zirkondioxidkeramiken im halbgesinterten Zustand verarbeitet [41]. Hierbei muss allerdings beachtet werden, dass eine Schrumpfung bei der Sinterung im Spezialofen mit einberechnet werden muss [42].

Tabelle 2: Übersicht gängiger Vollkeramiksysteme [43]

	Material	System	Herstellungstechnik	Klinische Indikation
Monolith/ Press-Technik	Lithium-Disilikat	IPS e.max Press (Ivoclar Vivadent)	Press-Technik	Inlays, Onlays, Veneers, Kronen, 3-gliedrige Brücken, Hybridabutments
		IPS e.max CAD (Ivoclar Vivadent)	CAD/CAM	
	Leucit	IPS Empress (Ivoclar Vivadent)	Press-Technik	Inlays, Onlays, Veneers, Teilkronen, Kronen
		IPS Empress CAD (Ivoclar Vivadent)	CAD/CAM	
	Feldspat	VITABLOCS Mark II (VITA Zahnfabrik, Bad Säckingen, Germany)	CAD/CAM	Inlays, Onlays, Veneers, Teilkronen, Kronen
		VITA TriLuxe Bloc (VITA Zahnfabrik)	CAD/CAM	

Kombination	Aluminium-oxid	In-Ceram Alumina (VITA Zahnfabrik)	CAD/CAM	Kronen, 3-gliedrige Brücken, Frontzahnbrücken
		In-Ceram Spinell (Vita Zahnfabrik)	CAD/CAM	Kronen
	Zirkondioxid	Procera (Nobel Biocare)	CAD/CAM	Kronen, 3-gliedrige Brücken, Frontzahnbrücken
		IPS e.max ZirCAD (Ivoclar Vivadent)	CAD/CAM	Kronen, Brücken
		Cercon (Dentsply Ceramo)	CAD/CAM	Kronen, Frontzahnbrücken

2.2.3 Klinische Bewährung

Es konnte ein stetiger Anstieg in den letzten Jahrzehnten an metallfreien Restaurationen in der Zahnmedizin verzeichnet werden. Metallrestaurationen mit Verblendkeramiken sind nach wie vor der Goldstandard. Dieses System kann die Stabilität, die durch das Metallgerüst zustande kommt, mit einer guten Ästhetik, die durch die keramische Verblendung erreicht wird, vereinigen. Der Ästhetik sind mit diesem klassischen System in Verbindung mit einem Implantat in der Frontzahnregion Grenzen gesetzt. Bei Verlust eines Zahnes oder Nichtanlage in der Frontzahnregion stellt eine Implantation durch gute Erfolgsraten (97,7% 5 Jahre Überlebensrate) die Therapie der Wahl dar [29].

Als ein ästhetisches Defizit der Verbundmetallkeramik kann das Durchschimmern der metallischen Unterkonstruktion und eine bläuliche Verfärbung der marginalen Gingiva genannt werden. Dies ist unter anderem ein Grund, weshalb in der ästhetischen Frontzahnregion häufig Vollkeramiksysteme Verwendung finden. Neben der ästhetischen Herausforderung stellen technische und biologische Komplikationen Risiken für den Behandlungserfolg dar. Als technische Komplikation werden

Gerüstfrakturen, kleinere und größere Keramikabplatzungen und der Verlust der Retention bezeichnet. Zu den biologischen Komplikationen muss man den Knochenrückgang, Verlust der fixierten Gingiva und den Rückgang der periimplantären Mukosa zählen [44, 45, 46, 47, 48].

In einer Langzeitstudie (7,2 Jahre) von Fenner et al. betrug die Überlebensrate von Vollkeramikkrone auf aluminiumoxidbasierten Abutments und Verbundmetallkeramikkrone auf Titanabutments 100% [45]. In einer Auswertung von Sailer et al. konnte gezeigt werden, dass 99,1% der Keramikabutments und 97,4% der Titanabutments in einem Beobachtungszeitraum von 5 Jahren überlebten [46]. Die häufigste technische Komplikation bei Verwendung von Vollkeramiksystemen ist die Fraktur des Abutments. Andersson et al. analysierte Aluminiumoxid- und Titanabutments auf Einzelzahnimplantaten. Eine 6,7%ige Frakturrate des Aluminiumoxidabutments konnte verzeichnet werden [47]. In der heutigen Zahnmedizin wird Zirkondioxid dem Aluminiumdioxid wegen besserer Materialeigenschaften wie hohe Biegefestigkeit, Zähigkeit und Biokompatibilität vorgezogen [39, 49, 50]. In einer Arbeit von Zembic et al. wurden 18 individualisierte Zirkondioxid- und 10 Titanabutments verwendet und jeweils nach 36 Monaten kontrolliert. Die Titanabutments wurden mit Metallkeramikkrone versorgt und die Zirkondioxidabutments mit Vollkeramikkrone. Keines der Abutments frakturierte in diesem Zeitraum oder verlor dessen Suprakonstruktion. Jedoch bei zwei der Metallkeramikkrone kam es zu Verblendfrakturen, welche zu den zweithäufigsten technischen Komplikationen gehören [48]. Es konnte bei mehreren Studien gezeigt werden, dass im Vergleich von Vollkeramiksystemen und Verbundmetallsystemen auf Implantaten kein signifikanter Unterschied bei den biologischen Faktoren vorliegt. Der Knochenrückgang, die Weichgewebsverhältnisse und der Rückgang der periimplantären Mukosa bei Verwendung von Keramikabutments mit vollkeramischen Suprastrukturen führte zu keinen signifikanten Unterschieden im Vergleich zu Titanabutments mit Suprakonstruktionen aus Verbundmetallkeramik [44, 45, 47, 48]. Ein optimales Ergebnis hängt nicht nur von der Überlebensrate von implantatgetragenen Restaurationen sondern auch von dem ästhetischen Erfolg ab [43, 51, 52]. Hierbei kommt es vor allem auf die Imitation des natürlichen Zahnes an.

Die marginale Gingiva stellt neben der Form und Farbe der Restauration eine Herausforderung hinsichtlich der Ästhetik dar. Bei Verwendung von metallischen

Abutments kann es zu einem grauen Durchschimmern an der marginalen Gingiva kommen. Verwendet man keramische Abutments, kann man diesen Effekt vermeiden. Des Weiteren konnte bei Keramikabutments eine nahezu entzündungsfreie periimplantäre Weichgewebssituation beobachtet werden. Gründe hierfür können die guten biologischen Eigenschaften der Keramik sein. Es konnte eine geringere Plaqueanlagerung, bakterielle Adhäsion und Dicke des Biofilms im Vergleich zu Titan gezeigt werden [53, 54, 55, 56]. Ebenso ist die Durchblutung des Weichgewebes an Keramik ähnlich wie an einem natürlichen Zahn, wohingegen die Durchblutung des Weichgewebes an Titan signifikant verringert ist [53, 57]. Ein intaktes, nicht verfärbtes Weichgewebe beeinflusst den ästhetischen Erfolg und wirkt sich positiv auf die Zufriedenheit der Patienten aus. Die weißliche Farbe der Zirkondioxidabutments beeinflusst im Vergleich zur gräulichen Farbe des Titans das umliegende Gewebe positiv [43, 58, 59]. Für eine erfolgreiche implantatgetragene Restauration sind nicht nur die Knochen- und Weichgewebsverhältnisse sondern auch die Reproduktion der Zahnfarbe durch die Auswahl des passenden Keramiksystems und des passenden Einsetzzementes von großer Bedeutung. Das Wissen über den Einfluss der einzelnen Faktoren auf die Farbrealisation von keramischen Restaurationen ist zwingend nötig und für das ästhetische Ergebnis entscheidend.

Tabelle 3: Zusammenfassung: klinische Bewährung von Vollkeramiksystemen auf Implantaten

Autor	Methode	Technische Komplikationen	Biologische Komplikationen
Cinoca et al. (2014) [44]	Zweiteiliges Vollkeramik-Implantationssystem von ZERAMEX®	Chipping an Suprastruktur 2,04 % Impl. Verluste 10,2% Abutment-Frakturen 4,08%	Knochenrückgang > 2mm 0% Ästhetisches Weichgewebe 0%

Fenner et al. (2015) [45]	Vollkeramikkronen + aluminiumoxidbasierte Abutments vs. VMK-Kronen + Titanabutments	Abutmentfrakturrate 0% Abutmentfrakturrate 0%	Kein signifikanter Unterschied bei Weichgewebs- verhältnissen
Seiler et al. (2009) [46]	Keramikabutments vs. Titanabutments	6,9% 15,9%	5,2% 7,7%
Andersson et al. (2001) [60]	Aluminiumoxidabutments vs. Titanabutments	Abutmentfrakturrate 6,7% Abutmentfrakturrate 0%	Kein signifikanter Unterschied bei Knochenrückgang und periimplantärer Mukosa
Zembic et al. (2009) [48]	Zirkondioxidabutments + Vollkeramikkronen vs. Titanabutments + VMK- Kronen	Frakturrate 0% Frakturrate 0% Verblendfraktur von Suprakonstruktion 20%	Kein signifikanter Unterschied zwischen den Materialien

2.3 Physikalische Grundlagen der Farbmeterik

Farben werden erst durch die Verarbeitung unseres Gehirns als ein Farbeindruck wahrgenommen. Dabei nimmt die Retina das eintreffende Licht als Farbreiz auf. Das Auge besteht aus einem Linsensystem mit Blendenregelung, der Iris. Das Licht, das ins Auge gelangt, trifft auf Millionen von Sinneszellen, den Stäbchen und Zapfen. Die Stäbchen sind für die Lichtverarbeitung in hell und dunkel zuständig, während die Zapfen für das Farbsehen verantwortlich sind. Es gibt drei verschiedene Zapfentypen, die S-, L- und M-Zapfen. Die S-Zapfen decken den blauen Farbbereich ab. Die M-Zapfen sind für den Bereich zwischen blauem und orangenem Licht verantwortlich. Die L-Zapfen übernehmen den Rotbereich. Die Stelle des schärfsten Sehens wird als Macula Lutea bezeichnet. In den Stäbchen und Zapfen ist ein rötlicher Farbstoff, Rhodopsin genannt, enthalten. Dieser Farbstoff besteht aus Opsin, einem Eiweißkörper und aus einem 11-cis-Farbmolekül, das der Körper aus Vitamin A synthetisieren kann. Menschen, die einen Vitamin A-Mangel aufweisen, können an Nachtblindheit leiden. Trifft ein Lichtimpuls auf eine Sinneszelle, so zerfällt das 11-cis-Retinal in ein All-trans-Retinal und Opsin. Diese Transformation sendet einen elektrischen Impuls an das Gehirn, was zu einem Farbeindruck führt.

Um Farben zu systematisieren, existieren Farbordnungssysteme. Dazu gehören unter anderem das RGB- (Rot, Grün, Blau), das CMYK- (Cyan, Magenta, Gelb), CIE- (Commission internationale de l'éclairage) Normvalenz- und das CIE Lab System. Das RGB-System ist aus den 3 additiven Grundfarben rot, grün und blau aufgebaut. Diese drei Grundfarben benötigt das menschliche Auge, um alle Farben zusammensetzen. Dieses System wird vor allem bei Farbmonitoren, Digitalkameras und Scannern verwendet. Das CMYK-System ist aus den drei subtraktiven Grundfarben Cyan, Magenta und Gelb aufgebaut. Dieses System wird zum Beispiel in der Druckindustrie verwendet. Im Jahr 1931 wurde die CIE Normvalenz eingeführt, die erste internationale Norm für Farben [61]. Alle Farbeindrücke besitzen ein bestimmtes Mischungsverhältnis der Primärfarben rot(X), grün (Y) und blau (Z). Jede dieser XYZ- Daten ist messtechnisch bestimmbar, wodurch sie in chromatische Koordinaten konvertiert werden können. Damit die Farben eindeutig in einem dreidimensionalen Farbraum gekennzeichnet werden, trägt jede Farbe eine x (rot)-, y (grün)- und z (blau)-Koordinate[43, 62, 63]. Da die Summe der Normspektralwertanteile $x(\lambda) + y(\lambda) + z(\lambda) = 1$ ergibt, genügen die

Farbwerte $x(\lambda)$ und $y(\lambda)$, um den genauen geometrischen Farbort zu bestimmen, wobei λ die Wellenlänge des Lichtes angibt [64]. Alle Farben können in diesem Farbraum wiedergegeben werden. Die untere Gerade gibt die gesättigten Purpurfarben wieder, welche die additiven Mischfarben von rot und blau sind. Die Spektralfarben liegen auf der äußeren Kurve. Der Punkt E gibt den Unbuntpunkt wieder, auf dem senkrecht die Unbuntachse steht. Unbunte Farben sind schwarz und weiß und alle Produkte aus diesen beiden Farben. Legt man eine Gerade zwischen 2 Ausgangsfarben, kann man entlang dieser Geraden alle additiven Mischfarben dieser beiden Ausgangspunkte erkennen.

Ein amerikanischer Physiker entwickelte das CIE- Normvalenz-System weiter, in dem er den blauen Bereich streckte und den grünen Bereich stauchte. Er entdeckte, dass Farben, die empfindungsgemäß in der CIE Normvalenz nicht zu unterscheiden sind, im blauen Bereich nah beieinander und im grünen Bereich weit auseinander liegen. Durch sogenannte Mac Adams Ellipsen konnte der Physiker dies veranschaulichen. Der Nullpunkt E wurde auch modifiziert. In diesem weiterentwickelten System liegt er im Zentrum des Farbraums. Der rote Bereich konnte größtenteils erhalten bleiben. Die Transformation sorgte dafür, dass der empfindungsgemäße und geometrische Abstand zweier Farben annähernd gleich ist. Im CIE L^*a^*b Farbraum sind alle sichtbaren Farben vorhanden. Um eine Farbe bestimmen zu können, benötigt man die Helligkeit L^* , die Sättigung C^* und den Farbton h° . Die Variable a gibt die Rottöne im positiven Bereich und die Grüntöne im negativen Bereich an. Die Variable b zeigt im positiven Bereich die Gelbtöne und im negativen Bereich die Blautöne [65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72]. Die Helligkeit ist durch die Ebene im Farbraum definiert. Die Sättigung lässt sich durch die Entfernung zum Unbuntpunkt und der Farbton durch die Richtung zum Unbuntpunkt definieren. Eine weitere wichtige Kenngröße im Farbraum ist der Farbabstand ΔE zweier Farben. Das Auge kann einen Farbabstand unter standardisierten Laborbedingungen von $\Delta E=1$ als Farbunterschied wahrnehmen [73]. Ist $\Delta E>3,7$ wird der Farbunterschied bei 50% der Beobachter als nicht akzeptabel wahrgenommen [74, 75].

2.4 Stellenwert der Farbe in der Zahnmedizin

2.4.1 Zahnfarbenbestimmung und Kommunikation

Eine wesentliche Rolle bei ästhetischem Zahnersatz spielt die Farbe des künstlichen Zahnes. Ein optimales Ergebnis erhält man, wenn der rekonstruierte Zahn nicht vom natürlichen Zahn zu unterscheiden ist. Da jeder Zahn und jede Zahnstruktur individuell und vielschichtig aufgebaut ist, ist die Herstellung einer Frontzahnkrone zahntechnisch aufwendig [76]. Die Zahnfarbenbestimmung in der Praxis nimmt einen wichtigen Teil bei der Herstellung von Zahnersatz ein. Die Zahnfarbe lässt sich visuell mit Farbschlüsseln oder instrumentell mit Farbmessgeräten bestimmen [65, 74, 77, 78, 79, 80, 81, 106]. Solche Farbschlüssel beinhalten alle gängigen Zahnfarben. Durch Anhalten des Musters an den entsprechenden Referenzzahn kann man die Farben vergleichen und auswählen. Die visuelle Farbbestimmung durch Farbschlüssel ist eine subjektive Methode und von endogenen und exogenen Faktoren abhängig [66, 82, 83, 84]. Diese können sein: Mangelnde Erfahrung und Farbsichtigkeit, schwankende Lichtverhältnisse, Ermüdungserscheinungen, Emotionen und Alter des Betrachters [85, 86, 87, 88, 89, 90]. Ein weiteres Problem besteht darin, dass die handelsüblichen Farbschlüssel nicht das komplette Farbspektrum der Zähne abdecken und die Farben herstellerübergreifend Schwankungen unterliegen [91, 92, 93, 94]. Durch die Verwendung instrumenteller Farbmesssysteme, wie z.B. ein Spektralfotometer oder ein Kolorimeter ist die objektive Zahnfarbenbestimmung möglich [65, 77, 95, 96]. Das Bestimmen der Farben mit den zuvor genannten Geräten funktioniert unterschiedlich.

Das Spektralfotometer bricht das eintreffende Licht unter Verwendung eines Filters in sein Spektrum. Das Spektralfotometer umfasst einen umfangreichen Wellenbereich (ultravioletter, visueller und naher Infrarotbereich) des Farbspektrums [97]. Das Spektralfotometer erstellt durch das reflektierte Licht des Prüfobjektes in Abhängigkeit der Wellenlänge eine Remissionskurve. Durch diese Daten lassen sich die CIE L^*a^*b Farbraum-Koordinaten berechnen [43]. Das Kolorimeter bestimmt die Intensität des reflektierten Lichts in 3 definierten Wellenlängenbereichen, sogenannte 3-Bereichsmessung. Kolorimeter messen das einfallende Licht mittels fotoelektrischer Empfänger und vorgeschalteten Farbfiltern. Der Farbreiz kann, anders als beim Spektralfotometer, nicht durch seine spektrale Zusammensetzung ermittelt werden. Eine weitere Unterscheidung bei den Spektralfotometern ist in der

Handhabung zu machen. Es gibt Punkt- oder Kontaktmessgeräte, die man direkt auf die Zahnoberfläche punktförmig aufsetzen kann und Flächenmessgeräte, die einen bestimmten Abstand zum Zahn einhalten oder in einem bestimmten Winkel zum Zahn ausgerichtet werden müssen. Flächenmessgeräte sind durch Reflektionseigenschaften des Prüfobjekts abhängig, da Sensor und Prüfobjekt eine Distanz aufweisen. Bei Punktmessgeräten liegt der Sensor direkt auf dem Prüfobjekt, wodurch Reflektionen keinen Einfluss auf das Messergebnis haben [43].

2.4.2 Reproduktion der Zahnfarbe

Das optische Verhalten natürlicher Zähne entsteht durch die Lichtreflektion bzw. Lichtstreuung des Schmelzes und der darunter liegenden Strukturen von Dentin und Pulpa [43, 63, 98]. Das Dentin gilt als größter Einflussfaktor auf die Farbgestaltung und Farbentstehung an Zähnen. Der Zahnschmelz beeinflusst durch seine Transluzenz das entstandene Farbbild nur gering. Es ist schwierig, diese Eigenschaften natürlicher Zähne auf künstliche Zähne zu übertragen. Deshalb haben sich keramische Werkstoffe zur Wiederherstellung der Ästhetik, vor allem in Frontzahnregionen etabliert [99, 100, 114]. Diese keramischen Werkstoffe bieten die Möglichkeit, dem Erscheinungsbild eigener Zähne möglichst nahe zu kommen. Bei transluzenter Keramik kann das Durchschimmern des Dentinstumpfes das natürliche Erscheinungsbild unterstützen.

Transluzente Keramiken besitzen einen hohen Anteil an Glas und einen niedrigen Kristallanteil. Die Stabilität wird durch die Höhe des kristallinen Anteils beeinflusst. Je höher der kristalline Anteil desto stabiler und opaker ist die Keramik [43, 101]. Wenn die natürlichen Zähne eine hohe Transparenz aufweisen und der darunterliegende Stumpf, durch eine Wurzelkanalbehandlung oder einen gegossenen Stift-Stumpf-Aufbau dunkel gefärbt ist, kann dies zu Verfärbungen der Vollkeramikkrone führen [102]. Die dünnste Stelle der Krone ist der Bereich am Zahnhals, was das Durchschimmern des dunkleren Wurzelzements noch mehr hervorheben kann. Meist kann an diesem Bereich eine Stärke von 1mm nicht überschritten werden. Um trotz dieser möglichen Komplikationen ein schönes ästhetisches Ergebnis zu erzielen, sollte man bei Zahnersatz in Form einer Krone oder Brücke unbedingt auf die Kronenstärke, Kronenfarbe, Stumpf- und Zementfarbe achten.

Douglas et al. führte eine Studie über Farbveränderungen bei Voll- und Metallkeramikkronen an natürlichen Zähnen durch. Metallkeramikkronen haben einen negativeren Einfluss auf die Ästhetik als ihre vollkeramischen Pendants [103, 104]. Das ästhetische Ergebnis wird auch durch den Keramiktyp [105], das darunter liegende Material [106, 107, 108, 109] und die Keramikstärke [110] maßgeblich beeinflusst. Dies ist vor allem dann zu sehen, wenn eine Mindeststärke der Krone unterschritten wird. Bei einer Kronenstärke von 1mm zeigte sich bei Verwendung einer Vollkeramikkrone ein schöneres Endergebnis. Positiv wurde das Ergebnis der Metallkeramikkrone durch Ansteigen der Kronenstärke beeinflusst, da das Durchschimmern des grauen Metallgerüsts geringer wurde und sogar ab einer bestimmten Stärke nicht mehr nachweisbar war. Durch das Ansteigen der Kronenstärke konnten die Vollkeramikkronen keinen weiteren positiven ästhetischen Effekt ausüben [104]. In der Klinik haben Kronen eine durchschnittliche Stärke von 1mm am Hals und in Richtung Schneidekante von 2mm. Eine Vollkeramikkrone bei einer Stärke von maximal 1mm ist durch die erhöhte Bruchgefahr bei okklusaler Belastung kontraindiziert. Bei stark verfärbten Stümpfen hat man die Möglichkeit „low transluzenz“ Blöcke zu verwenden, um schöne ästhetische Ergebnisse zu erzielen [111]. Je dicker die Krone, desto geringer ist der Transluzenzeffekt, der das Durchschimmern der darunter liegenden Struktur und damit auch die Natürlichkeit der künstlichen Krone fördert.

Der Zement hat relativ geringe Einflüsse auf die gesamte Farbveränderung der Krone [114]. Viele Studien untersuchten die Farbdifferenzen anhand der Keramikstärke und nicht anhand der Keramikfarbe. Die Keramikfarbe hat ebenso wie die Stärke einen großen Einfluss auf die Farbveränderung. Keramiken, die eine hohe Opaleszenz aufweisen, können Strukturen besser maskieren als Keramiken mit einer hohen Transluzenz. Transluzente Keramiken streuen das Licht stärker und absorbieren weniger als opake Keramiken. Möchte man hochtransluzente Kronen verwenden, muss man beachten, dass stark diskolorierte Zähne eine Kontraindikation darstellen [112].

Bei Verwendung eines Implantates kommt mit dem Material des Abutments noch ein weiterer wichtiger Faktor hinzu. Vichi et al. untersuchte 3 verschiedene Fälle. Er untersuchte die Effekte der Maskierung von Keramikstärke auf Abutment, Zementfarbe auf Keramikfarbe und Zementfilmstärke auf Keramikfarbe. Als Resultat

konnte folgendes notiert werden: Bei einer Keramikstärke von 1mm haben sich alle oben genannten Variablen negativ auf das visuelle Endergebnis ausgewirkt. Bei einer Stärke von 1,5mm wurden die Einflüsse auf die Keramik geringer und konnten meist durch visuelle Betrachtung nicht wahrgenommen werden, sondern nur durch instrumentelle Messgeräte im Labor. Ab einer Stärke von 2mm waren klinisch keine Unterschiede mehr nachweisbar. Die sorgfältige Auswahl von Keramik, Abutment und Zement ist maßgeblich für das ästhetische Ergebnis, vor allem bei geringen Keramikstärken unter 1,5mm. Bei Nakamura et al. wurden gepresste leuzitbasierte Keramikabutments mit goldüberzogenen Abutments verglichen. Schimmert Licht durch die Suprakonstruktion, kann sich die Farbe des darunterliegenden Abutments bei geringer Keramikstärke negativ auf das Gesamtergebnis auswirken. Das Ergebnis dieser Studie zeigt, dass ab einer Kronenstärke von weniger als 1,6mm, das goldlegierte Abutment durch die Krone nicht maskiert werden konnte. Im Vergleich dazu gab es bei den Keramikabutments keinen signifikanten Farbunterschied zwischen Abutment und Suprakonstruktion, auch bei Unterschreiten der oben genannten 1,6mm [113]. Bei solch geringen Keramikstärken sind das Abutment und auch der Zement wichtige Faktoren, die Einfluss auf die Farbentwicklung der Krone nehmen. Die Auswahl des passenden Einsetzzementes kann mit Hilfe provisorischer Try in Pasten vor dem definitiven Einsetzen vereinfacht werden. Bei diesen Pasten handelt es sich um nicht härtendes, wasserlösliches Glyceringel, das in den gleichen Farbnuancen wie der definitive Zement angeboten wird. Somit hat man die Möglichkeit mehrere Anproben durchzuführen, um das beste Ergebnis auswählen zu können. Die Zementfarbe, Zementstärke und das Abutment wirken sich ab einer Mindestkronenstärke von 2mm klinisch nicht negativ auf die Suprakonstruktion aus. Bei einer Stärke von 1,5mm wirken sich zwar nur noch sehr schwache Effekte auf die Krone aus, es wird jedoch empfohlen, genau wie bei einer Keramikstärke von 1mm, die Auswahl der Zementfarbe und des Materials des Abutments in die Versorgung mit einzubeziehen.

Studien zeigten, dass vor allem adhäsive Befestigungsmaterialien einen maskierenden Effekt auf den Stumpf oder das Abutment haben. In einer Studie von Vichy konnte gezeigt werden, dass bei einer Zementschichtstärke von 0,1-0,2mm und einer Kronenstärke von 1mm geringe Farbveränderungen an der Restauration durch das Befestigungsmaterial wahrgenommen werden können [114]. In einer Untersuchung von Turgur et al. waren die Ergebnisse mit transparentem

Befestigungsmaterial bei einer Kronenstärke von maximal 1mm inakzeptabel. Bei der Verwendung von opaken Befestigungsmaterialien konnte eine Maskierung der darunter liegenden Strukturen beobachtet werden [112]. Die Hauptfaktoren, die auf die Farbe der Suprakonstruktion einwirken, sind die Kronenstärke und das Material des Abutments [114]. Eine Studie von Chaiyabutr et al. zeigte ebenso, dass die Kronenstärke größere Effekte auf die Farbveränderungen und auf die Transluzenz ausübt, als der Einsetzzement [104, 113, 114, 115, 116]. Ab einer Kronenstärke von 2mm hat der darunterliegende Stumpf oder das Abutment keinen Einfluss auf die Farbe der Suprakonstruktion [104, 114, 116, 117]. Die größten ΔE -Werte wurden bei den Kronen mit einer Stärke von 1mm auf dunklen Stümpfen mit transparentem Zement gemessen. Die niedrigsten ΔE -Werte wurden bei der Kronenstärke von 2,5mm mit hellem Stumpf und transparentem Zement gemessen. Die Kronen von 1mm und 1,5mm Stärke und transparentem oder opakem Zement auf dunklen Stümpfen, ergab eine inakzeptable Farbveränderung. Alle Einflussfaktoren, wie Keramikfarbe, Keramikstärke, Zementfarbe und Abutmentfarbe beeinflussen unterschiedlich stark die Farbrealisation eines Vollkeramiksystems.

Tabelle 4: Auswirkung auf die Farbveränderung an Kronen durch verschiedene Einflussfaktoren

Autor	Methode	Ergebnis
Vichy et al [114]	Keramikstärke + Abutment Zementfarbe + Keramikfarbe Zementfilmstärke + Keramikfarbe	Keramikstärke = 1mm ->Negative Farbveränderung durch alle Einflussfaktoren Keramikstärke = 1,5mm ->Keine Farbveränderungen durch Einflussfaktoren bei visueller Betrachtung ->Farbveränderungen durch Spektralfotometer messbar Keramikstärke \geq 2mm

		->Keine Farbveränderung messbar
Chaiyabutr. et al. [111]	Stumpffarbe + Keramikstärke + Zementfarbe Abutment + Keramikstärke + Zementfarbe	Kronenstärke $\geq 2\text{mm}$ ->Zahnstumpf/ Abutment haben keinen Einfluss auf Farbveränderung Größte ΔE -Werte bei 1mm Keramikstärke + dunkler Stumpf + transparenter Zement Geringste ΔE -Werte bei 2,5mm Kronenstärke + heller Stumpf + transparenter Zement
Douglas et al. [104]	ΔE - Werte an: Metallkeramikronen vs. Vollkeramikronen	Metallkeramik: ->Hohe ΔE -Werte bei geringer Kronenstärke -> ΔE -Werte werden bei Zunahme der Kronenstärke geringer Vollkeramik: ->Geringe ΔE - Werte bei geringer Kronenstärke

<p>Nakamura et al. [113]</p>	<p>Keramikabutments +Vollkeramikkrone vs. goldlegierte Abutments + Vollkeramikkrone</p>	<p>Keramikstärke<1,6mm ->goldlegiertes Abutment schimmert durch Keramik ->bei Keramikabutment kein signifikanter Farbunterschied</p>
------------------------------	---	---

2.4.3 Bestimmung der Schleimhautfarbe

Die Bestimmung der Schleimhautfarbe ist in der Herstellung von Zahnersatz ebenso ein wichtiger Schritt wie die Bestimmung der Zahnfarbe, da man sehr oft auch parodontale Strukturen ersetzen muss. Es sind, wie bei der Analyse der Zahnfarben, auch Farbschlüssel für die Gingiva auf dem Markt erhältlich. Diese Farbschlüssel beinhalten 90% der gingivalen Basisfarben. Die Basisfarben erstrecken sich von rosa und rot über orange bis zu dunkelbraun. Bei der Analyse der Schleimhaut sollte die befestigte von der beweglichen Gingiva unterschieden werden, da die bewegliche Gingiva transluzente Bereiche aufweist. Die Farbe korreliert mit der Gefäßdichte des Zahnfleisches. Venöse Gefäße werden bei Rekonstruktion durch blaue oder lilafarbene Töne imitiert. Eine Hilfe für die Farbenbestimmung ist neben dem obengenannten Farbschlüssel, die Verwendung instrumenteller Farbmessgeräte, wie ein Spektralfotometer, wie sie auch bei der Zahnfarbenbestimmung eingesetzt werden.

Du et al. widmete seine Studie diesem Thema [118]. Er untersuchte die Genauigkeit bei der Farbbestimmung der Gingiva mit einem Spektralfotometer. Er analysierte die befestigte, die bewegliche und die papilläre Gingiva. Das Spektralfotometer zeigte bei wiederholten Messungen eine relativ geringe Abweichung, wodurch es sich als nützliches Hilfsmittel in der Farbanalyse der Schleimhaut erwies. Jung et al. untersuchte an 10 Schweineoberkiefern die Farbveränderungen an der Gingiva mittels Spektralfotometer durch 4 Testmaterialien [119]. Es wurde Titan, Titan mit Feldspatkeramikverblendung, Zirkondioxid und Zirkondioxid mit Feldspatkeramikverblendung verwendet. Die Gingiva wurde an 1,5mm, 2mm und 3mm starken Bereichen untersucht. Als Referenz galt die Gingiva ohne Einlage der Testmaterialien. Alle Materialien führten zu farblichen Veränderungen an der

Schleimhaut, die allerdings mit der Zunahme der Stärke abnahm. Bei Zirkondioxid mit und ohne Verblendung gab es mit bloßem Auge keine farbliche Veränderung bei 2mm und 3mm Stärke. Ab einem Wert von 3mm konnten durch keines der Materialien Farbveränderungen, die das menschliche Auge wahrnahm, festgestellt werden. Titan führte zur auffälligsten Farbveränderung an der Gingiva. Das schönste ästhetische Ergebnis mit geringer farblicher Veränderung bei geringer Gingivastärke erhält man bei Verwendung von Zirkondioxid.

Bressan et al. fand heraus, dass das Weichgewebe an Implantaten sich von dem an natürlichen Zähnen unterscheidet [120]. Hierbei ist es egal, welches Abutmentmaterial (Titan, Zirkondioxid oder Gold) verwendet wurde. Das Titanabutment hatte signifikant höhere ΔE -Werte als Gold oder Zirkondioxid. Es wurde kein signifikanter Farbunterschied an der Gingiva zwischen dem Gold- und dem Zirkondioxidabutment gemessen. Die Dicke der Gingiva hatte keinen entscheidenden Einfluss auf die hervorgerufenen Farbveränderungen durch die Abutments. Bei Jung et al. hingegen ergab die Studie, dass Zirkondioxid ab einer Gingivastärke von 2mm und Titan ab einer Stärke von 3mm nicht zum durchschimmern und zu gingivalen Farbveränderungen führte [119]. Park et al. analysierte ebenfalls den Unterschied mit einem Spektralfotometer zwischen der Mukosa an natürlichen Zähnen und an Implantaten [121]. Es sollte ebenso der Farbeffekt von Titanimplantatschultern auf die Gingiva betrachtet werden. Als Referenz wurde die Gingiva des benachbarten oder des kontralateralen Zahnes herangezogen. Es wurde an 5 Bereichen der Gingiva vom Zahnfleischrand Richtung apikal gemessen. Die Farbunterschiede waren am Randbereich größer als in Apexnähe. Der mittlere Farbunterschied lag am Rand bei 7,7 und reduzierte sich in Apexnähe auf 6,5, was oberhalb des Grenzwertes ($\Delta E > 3,7$) für einen klinisch akzeptablen Farbunterschied liegt. Als Ergebnis konnte man erkennen, dass es einen signifikanten Farbunterschied zwischen dem periimplantären Weichgewebe an Implantaten und dem Weichgewebe an natürlichen Zähnen gab. Eine andere Studie von Ishikawa-Nagai et al. untersuchte ebenso das Durchschimmern von verschiedenen Materialien unter der Gingiva [122]. Hierbei wurden die Farbunterschiede an Patienten mit Implantaten untersucht. Es wurden durch Einfügen von Farbstreifen in den Farben weiß, schwarz, pink, hellpink, orange, hellorange, gold und violett im periimplantären Gewebe im Vergleich zur Gingiva vom benachbarten oder kontralateralen Zahn die Farbveränderungen gemessen. Als

Ergebnis sah man, dass pink, hellpink, orange und hellorange signifikant geringere ΔE -Werte als die übrigen Farben im periimplantären Gewebe ergaben. Hellpink zeigte dabei die geringsten Differenzen, was dem besten ästhetischen Ergebnis entsprach, da es unterhalb des klinischen Grenzwertes für akzeptable Farbdifferenzen ($\Delta E < 3,7$) lag.

Daraus schließt sich, dass sich das ästhetische Ergebnis verbessern lassen würde, wenn das Abutment hellpink gefärbt würde, da sich das darunter liegende Titan dadurch optimal maskieren lassen würde. Ziel in einer anderen Studie von Jung et al. war es, herauszufinden, ob Verbund-Metall-Keramik (VMK)-Kronen oder Vollkeramikronen Einfluss auf die marginale Gingiva in Form von Farbveränderungen haben [9]. Es wurden VMK-Kronen auf Titan- und Goldabutments eingegliedert. Das Vollkeramiksystem wurde auf aluminiumoxidbasierten Abutments zementiert. Als Referenz wurde der Nachbarzahn zu dem Implantat gewählt. Ein weiteres Ziel dieser Studie war es, herauszufinden, ob Weichgewebstransplantate bei zuvor implantierten Abutments Veränderungen der Farbe hervorrufen. Die Vollkeramikronen zeigten signifikant mit $p > 0,05$ weniger sichtbare farbliche Veränderungen an der Mukosa als die VMK-Konstruktionen. Bei den Augmentationen gab es zwischen den VMK- und Vollkeramikronen keinen signifikanten Unterschied im Vergleich zu der nicht augmentierten Mukosa. Der Farbunterschied der periimplantären Mukosa mit der VMK- und vollkeramischen Suprakonstruktion und der Mukosa des Nachbarzahnes war mit $p < 0,05$ signifikant. Die Farbdifferenz war mit $p > 0,05$ signifikant höher für die VMK Konstruktion im Gegensatz zu der Vollkeramikonstruktion. Das Einsetzen von VMK-Kronen auf Titan- oder Goldabutments verursacht ähnliche sichtbare Farbveränderungen an dem Gingivarand wie Vollkeramikronen auf aluminiumoxidbasierten Abutments. Die Vollkeramikronen passten sich besser an ihre umliegende Mukosa und die natürlichen Zähne in ihrer Nachbarschaft an. Das Gewebe der periimplantären Mukosa war mit $p > 0,05$ signifikant dicker als das an den natürlichen Zähnen. In einer anderen Studie, von Paniz et al. durchgeführt, wurden 39 Patienten mit implantatgetragendem Zahnersatz untersucht [123]. Bewertet wurde subjektiv von 5 Zahnspezialisten und objektiv von einem Spektralfotometer. Bei der objektiven Bewertung konnte zwischen 1 (perfekte Anpassung) bis 4 (klinisch nicht akzeptabel) ausgewählt werden. Es wurde zwischen dicken und dünnen Gingivabiotypen unterschieden. Paniz definierte bei seiner Arbeit die Gingivabiotypen als dünn, wenn

eine in den Sulkus eingeführte Parodontalsonde zu einem Schatten an der Mukosa führte und als dick, wenn die Sonde nicht durchschimmerte. Als Ergebnis zeigte sich mit der objektiven Messmethode ein farblicher Unterschied zwischen der Schleimhaut von natürlichen Zähnen und der Schleimhaut an Implantaten. Bei den subjektiven Messungen waren die Ergebnisse der Schleimhaut an den natürlichen Zähnen ähnlich zu der Schleimhaut an Implantaten. Dicke Gingivabiotypen verbesserten die Ergebnisse für die objektive und subjektive Messmethode. Eine dünne Mukosa (<2mm) kann dazu führen, dass darunterliegende Materialien von Abutments durchschimmern. Bei Titanabutments kann dies zu gräulichen bzw. bläulichen Farbveränderungen an der Gingiva führen.

Aus diesem Grund wurden Keramikabutments entwickelt. Sie haben eine gute Stabilität für die Restauration von Einzelzahnimplantaten. In einer Studie von Happe et al. analysierte man den Farbunterschied von Abutments unter 1,5mm dicken Mukosa. Als Materialien wurden fluoreszierend gefärbte Zirkon-, Titan- und normale Zirkondioxidabutments verwendet [124]. Als Ergebnis der Studie von Happe et al. sah man, dass das fluoreszierende Zirkondioxidabutment dunkler als das normale schien. Das Titanabutment unter einer 1,5mm dicken Gingiva führte zu einem dunklen Durchschimmern. Die beiden Zirkondioxidabutments zeigten ähnliche Helligkeitswerte, obwohl das fluoreszierende Abutment dunkler erschien. Jung et al. berichtete von einem auffälligen Farbunterschied bei Verwendung von Titanabutments [9]. Ab einer Gingivastärke von 2mm konnte man bei Verwendung von Zirkondioxidabutments im Vergleich zu Titanabutments keinen Farbunterschied an der umliegenden Schleimhaut wahrnehmen. Ab 3mm Stärke konnte durch das Titanabutment kein Farbunterschied mit $\Delta E > 3,7$ festgestellt werden. Ishikawa-Nagai et al. fand heraus, dass sich als Farbe für Abutments am besten hellpink und hellorange zur Anpassung an die Gingiva eignen, was jedoch problematisch bei Rezessionen sein könnte [122]. Im Gegensatz dazu geht man davon aus, dass Patienten mit Rezessionen an Implantaten ein zahnfarbenes Abutment im Gegensatz zu einem pinken oder orangenen Abutment tolerieren könnten. In einer Studie von Jun et al. wurden Transluzenzparameter an der humanen Gingiva gemessen [12]. Es wurde gemessen, ab welcher Stärke die Gingiva eine Transluzenz aufweist. Ebenso wurde analysiert, wie bei den oben genannten Studien, ab welcher Stärke darunterliegendes Material durchschimmert. Als Resultat konnten folgende Werte notiert werden: Mit steigender Implantattiefe und Gingivastärke nahm der

Transluzenzparameter ab. Ab einer Mukosastärke von 2mm konnte keine signifikante Änderung des Transluzenzparameters festgestellt werden. Dies bedeutet, dass eine Gingivastärke von mindestens 2mm darunter befindliche Strukturen maskiert. Eine vollständige Maskierung ist zu erwarten, falls der Implantat-Abutment- Komplex mindestens 1,5mm vom fazialen Gingivasaum entfernt ist. Die Gingivatransluzenz korreliert mit der Dicke der periimplantären Mukosa und dem Abstand vom fazialen Gingivasaum.

Zusammenfassend kann man sagen, dass eine ästhetisch ansprechende implantatgetragene Restauration von sehr vielen Faktoren abhängig ist. Die Position und die Neigung setzen bei der Insertion schon den Grundstein dafür. Eine perfekt angepasste Krone in anatomischer Form und geeigneter Farbe zu den Nachbarzähnen ist ebenso ein wichtiger Faktor. Die Wichtigkeit des Weichgewebes darf man vor allem bei Restaurationen im Frontzahnbereich nicht unterschätzen, da dies auch zu einem großen Teil über den Erfolg oder auch Misserfolg in der ästhetischen Zahnheilkunde entscheidet.

Tabelle 5: Übersicht der Farbveränderungen an der Gingiva durch verschiedene Materialien

Autor (Jahr)	Methode	Ergebnis
Jung et al. (2007) [119]	Farbveränderungen an Gingiva (1,5/2/3mm) durch eingelegtes: <ul style="list-style-type: none"> • Titan • Titan + Feldspatkeramik • Zirkondioxid • Zirkondioxid + Feldspatkeramik 	Gingiva >2mm: Bei Zirkondioxid/Zirkondioxid + Feldspatkeramik ->keine farbl. Veränderung Gingiva >3mm: ->Alle Materialien maskiert

<p>Bressan et al. (2010) [120]</p>	<p>Farbveränderungen an der implantierten Gingiva durch Abutments:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Titan • Zirkondioxid • Gold 	<p>Gingivastärke hatte keinen Einfluss auf Farbveränderungen</p> <p>Größte farbl. Veränderung durch Titanabutments</p> <p>Kein signifikanter Unterschied zwischen Gold und Zirkondioxid</p>
<p>Ishikawa-Naga et al. (2007) [122]</p>	<p>Farbveränderungen an der implantierten Gingiva durch Einlegen von Farbstreifen:</p> <ul style="list-style-type: none"> • weiß/schwarz/gold/violett • pink/hellpink/orange/hellorange 	<p>Geringste Farbdifferenzen durch:</p> <ul style="list-style-type: none"> • pink, hellpink, hellorange <p>Geringste Farbdifferenz durch:</p> <ul style="list-style-type: none"> • hellpink
<p>Park et al. (2007) [121]</p>	<p>Farbveränderungen an der implantierten Gingiva gemessen am Zahnfleischrand und Richtung Apex</p> <p>durch:</p> <p>Titanimplantatschultern</p>	<p>Farbunterschied am Zahnfleischrand größer als am Apex</p> <p>Genereller Farbunterschied erkennbar</p>
<p>Paniz et al. (2013) [123]</p>	<p>Subjektive + objektiv gemessene Farbveränderung an der implantierten Gingiva (dünner/dicker Biotyp) durch</p> <ul style="list-style-type: none"> • Titanabutments 	<p>Objektive Methode: ->Farbliche Veränderung</p> <p>Subjektive Methode ->Keine farbliche Veränderung</p> <p>Generell (subj./obj.) geringere Farbdifferenzen bei dicker Gingiva</p>

<p>Happe et al. (2013) [124]</p>	<p>Farbdifferenz an der implantierten Gingiva (1,5mm) durch Abutments aus:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Fluoreszierendem Zirkondioxid • Titan • Zirkondioxid 	<p>Titan führte zu einem dunklen Durschimmern an der Gingiva</p> <p>Beide Zirkondioxidabutments zeigen ähnliche Werte, das fluoreszierende erschien jedoch dunkler</p>
<p>Jung et al. (2008) [9]</p>	<p>Farbveränderungen an der implantierten Gingiva durch:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Titan-/Goldabutments mit VMK Kronen • Aluminiumoxidbasierten Abutments mit Vollkeramikronen 	<p>Ähnliche Farbveränderungen</p>

3. Material

3.1 Geräte

Tabelle 6: Geräte

Sirona in Lab MC XL Schleifeinheit + Sirona Cerec AC Omnicam	Sirona Dental Systems GmbH, 64625 Bensheim, Deutschland
Programat EP 5000	Ivoclar Vivadent GmbH, 73479 Ellwangen, Deutschland
Erkoform RVE	Erkodent Erich Kopp GmbH, 72285 Pfalzgrafenweiler, Deutschland
Dampfstrahlgerät D-S-100	Harnisch+Rieth GmbH & Co. KG, 73644 Winterbach, Deutschland
Macbeth Judge II	x-rite, Grand Rapids, 49512 Michigan, USA
Vita Easyshade Advance	Vita Zahnfabrik, H. Rauter GmbH & Co. KG, 79704 Bad Säckingen, Deutschland
Handstück Master 3	Schick GmbH, 88433 Schemmerhofen, Deutschland

3.2. Instrumente

Tabelle 7: Instrumente

Astra 6-Kant-Drehmomentschlüssel	Dentsply International, York, Pennsylvania, USA
----------------------------------	--

3.3. Verbrauchsmaterialien

Tabelle 8: Verbrauchsmaterialien

Cerec MC XL in Lab MC XL Cylinder Pointed Bur 20	Sirona Dental Systems GmbH, 64625 Bensheim, Deutschland
Cerec MC XL in Lab MC XL Cylinder Pointed Bur 12 S	Sirona Dental Systems GmbH, 64625 Bensheim, Deutschland
Cerec MC XL in Lab MC XL Step Bur 20	Sirona Dental Systems GmbH, 64625 Bensheim, Deutschland
Cerec MC XL in Lab MC XL Step Bur 12 S	Sirona Dental Systems GmbH, 64625 Bensheim, Deutschland
Amaris Gingiva	Voco GmbH, 27472 Cuxhaven, Deutschland
Variolink II Try-In	Ivoclar Vivadent GmbH, 9494 Schaan, Fürstentum Lichtenstein
e.max CAD	Ivoclar Vivadent GmbH, 9494 Schaan, Fürstentum Lichtenstein
e.max Ceram Glaze Spray	Ivoclar Vivadent GmbH, 9494 Schaan, Fürstentum Lichtenstein
Object Fix Putty	Ivoclar Vivadent GmbH, 9494 Schaan, Fürstentum Lichtenstein
Schleifzusatz Dentatec Cerec in Lab	Sirona Dental Systems GmbH, 64625 Bensheim, Deutschland
Erkolen 0,7mm, Ø120mm	Erkodent Erich Kopp GmbH, 72285 Pfalzgrafenweiler, Deutschland
Dento-dur-110 blau	Pluradent AG & Co. KG 63067 Offenbach, Deutschland
Silikon	Pluradent AG & Co. KG

	63067 Offenbach, Deutschland
Fix Adhesive	Dentsply International, York, Pennsylvania, USA
Pluralgin Super	Pluradent AG & Co. KG 63067 Offenbach, Deutschland
Astra Osseo Speed TX Profile Atlantis Abutments	Dentsply International, York, Pennsylvania, USA
Frasaco Modell Serie A-3	Frasaco GmbH 88069 Tettnang, Deutschland

3.4 Software

Tabelle 9: Software

Cerec 3D Version 4.2.2	Sirona Dental Systems GmbH, 64625 Bensheim, Deutschland
Microsoft Excel 2010	Microsoft Deutschland GmbH, 85716 Unterschleißheim, Deutschland
Vita ES-Helper	Vita Zahnfabrik, H. Rauter GmbH & Co. KG, 79704 Bad Säckingen, Deutschland
SPSS 21.0	IBM Deutschland GmbH 71137 Ehningen, Deutschland

3.5 In-vitro-Modell

Die Grundlage dieser Studie umfasst ein eigens entwickeltes In-vitro-Modell. Dieses Modell beinhaltet ein modifiziertes Oberkiefermodell von Frasaco mit inserierten

Frontzahnimplantaten und auswechselbaren Abutments und Keramikrestaurationen. Ziel dieser Studie ist die Analyse von Einflussfaktoren auf die Farbrealisation von Implantatversorgungen.

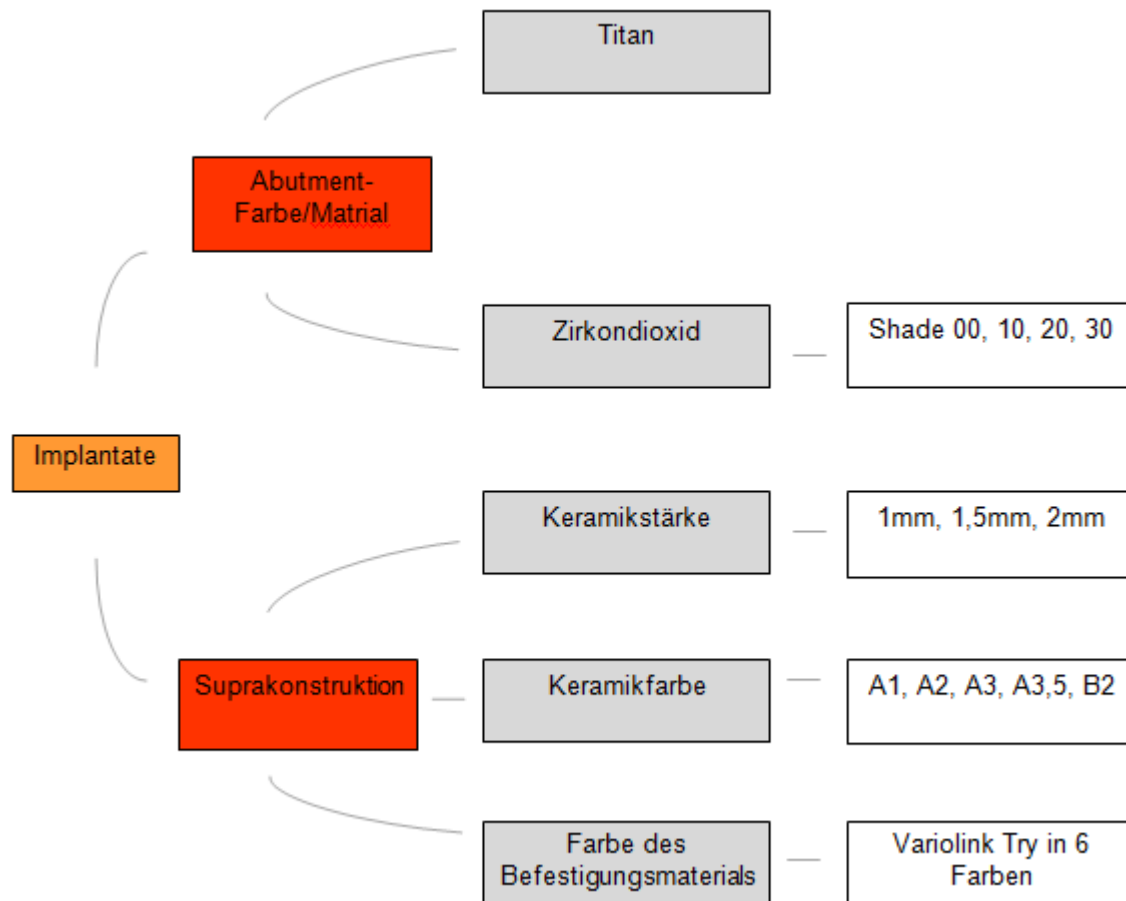


Abbildung 1: Übersicht in-vitro-Modell

3.6 Implantatgetragene Versorgung

Für diesen in Vitro Versuch haben wir ein modifiziertes Frasacomodell der Serie A-3 zur Verfügung gestellt bekommen. Die Schleimhautmaske des Modells wurde in Regio 11 bis 13 entfernt. An dieser Stelle wurden 3 Astra Osseo Speed TX Profile Implantate entsprechend der Zahnachse inseriert. Anschließend wurde eine neue, abnehmbare Schleimhautmaske erstellt. Die Abutments wurden mit Hilfe des Atlantis System für CAD/CAM gefertigte zementierte Lösungen patientenindividuell

angefertigt. Insgesamt wurden auf diese Weise 5 identische Abutments in den Materialien Zirkondioxid (Shade 00, 10, 20, 30) und Titan hergestellt.



Abbildung 2: Modifiziertes Frasacomodell



Abbildung 3: Abutments Shade 00, 10, 20, 30, Titanium

3.7 Restauration

Im Rahmen dieser Untersuchung wurden Lithium-Disilikat-Glaskeramiken von e.max CAD Ivoclar Vivadent zur Anfertigung der CAD/CAM Kronen gewählt. Die Blöcke werden in einer kristallinen Zwischenstufe (130-150 MPa) ausgeschliffen und erhalten ihre endgültige Festigkeit (360MPa) nach Kristallisation im Brennofen. Der Hersteller gibt folgende Indikationen an: (dünne) Veneers, okklusale Veneers, Inlays, Onlays, Kronen, 3-gliedrige Frontzahn- und Prämolarenbrücken, Hybrid-Abutments und Hybrid-Abutment-Kronen. Die uns zur Verfügung gestellten Zahnfarben waren: A1, A2, A3, A3,5 und B2.

3.8 Herstellung der Kronen

Das Abutment wurde mit Hilfe des Cerec in EOS blue System optisch eingescannt und ein digitales Modell erstellt. Anschließend wurde das virtuelle Modell getrimmt und die Präparationsgrenze des Abutments und die Einschubrichtung festgelegt. Das Kronendesign wurde mit der Biogenerik Datenbank der Cerec 4.2 Software ermittelt. Da in dieser Studie der Einfluss verschiedener Faktoren auf die Keramikfarbe bei verschiedenen Kronenstärken untersucht wurde, fertigten wir 3 unterschiedliche Keramikstärken an. Die vestibuläre Kronenstärke betrug 1mm, 1,5mm und 2mm. Es wurde darauf geachtet, dass der Bereich, an dem im Anschluss die Messungen durchgeführt wurden, möglichst planar und die Restauration vollständig vom Abutment unterstützt ist. Nachfolgend wurden die Restaurationsparameter überprüft und der Zementspalt auf 0,1mm eingestellt. Die Restauration wurde mit der Cerec MC XL Schleifeinheit ausgefräst. Der e.max CAD Block von Ivoclar wurde hierfür in der Schleifeinheit positioniert und laut den Herstellerangaben im normalen Schleifmodus ausgefräst. Es wurden jeweils 5 Restaurationen jeder Keramikfarbe und Keramikstärke hergestellt. Jede Restauration wurde nach erfolgreichem Schleifprozess auf den Abutments angepasst und kontrolliert. Der Glanzbrand erfolgte mit dem e.max Ceram Glaze Spray im Keramikofen. Hierbei wurde sich streng an die Herstellerangaben gehalten. Die fertigen Kronen wurden auf Defekte oder Inhomogenitäten überprüft. Mithilfe eines Tasterzirkels konnte die Keramikstärke nachgemessen werden. Kronen, die fehlerhaft waren, wurden ausgetauscht und neu hergestellt.



Abbildung 4 :Cerec Design Krone 11



Abbildung 5: Keramikkronen A1, A2, A3, A3,5, B2

Tabelle 10: Restaurationsparameter

Anteriore Grundform	Nein
Spacer 0 μ m - 200 μ m	100
Okklusaler Schleifoffset -500 μ m - 500 μ m	0
Approximale Kontaktstärke -200 μ m - 200 μ m	25
Okklusale Kontaktstärke -200 μ m - 200 μ m	25
Mindeststärke (radial) 0 μ m - 2000 μ m	1500
Mindeststärke (okkusal) 0 μ m - 2000 μ m	1500
Randverstärkung 0 μ m - 300 μ m	40
Fräseradiuskorrektur Ja/Nein	Ja
Unterschnitte entfernen Ja/Nein	Ja

Tabelle 11: Brennparameter

Programat	P300 P500 P700
Bereitschaftstemperatur B [°C]	403
Schließzeit S [min]	6:00

Heizrate t1 [°C/min]	60
Brenntemperatur T1 [°C]	770
Haltezeit H1 [min]	0:10
Heizrate t2 [°C/min]	30
Brenntemperatur T2 [°C]	850
Haltezeit H2 [min]	10:00
Vakuum 1 11 [°C] 12 [°C]	550/770
Vakuum 2 21 [°C] 22 [°C]	770/850
Langzeitabkühlung L [°C]	700
Kühlrate tl [°C/min]	0

3.9 Herstellung der Schleimhautmaske

Angefertigt wurde ein Blaugips-Arbeitsmodell des modifizierten Frasacomodells. Anschließend wurde mittels des Kunststoffes Amaris Gingiva von Voco eine Zahnfleischmaske in Regio 11 modelliert. Es wurde darauf geachtet, dass die Maske

im Bereich der später durchgeführten Messungen annähernd planar ist. Die Gingivamasken wurden in den Stärken 1mm, 1,5mm und 2mm hergestellt. Die Stärke wurde mit einem Tasterzirkel ermittelt und überprüft.



Abbildung 6: Gingivamasken in 1mm, 1,5mm und 2mm

3.10 Einsetzmaterialien

Die Auswirkung auf die Farbrealisation, beeinflusst durch unterschiedlich gefärbte Einsetzmaterialien, wurde mit den glycerinhaltigen, wasserlöslichen Try In Pasten Variolink II von Ivoclar Vivadent simuliert. Zusätzlich zu dem Glycerin enthalten die Try In Pasten mineralische Farb- und Füllstoffe. Die Try In Pasten sind in identischer Farbe zum definitiven Einsetzkomposit erhältlich. In dieser Untersuchung wurden die Farben braun, gelb (universal), weiß opak, weiß, transparent und bleach XL verwendet. Die Farben entsprechen dem auspolymerisiertem Befestigungskomposit. Ein großer Vorteil dieser Try In Pasten liegt in der einfachen Entfernung von den Keramikronen und den Abutments.

3.11 VITA Easyshade advance 4.0

Das VITA Easyshade advance ist ein instrumentelles Farbmessgerät. Dieses Farbmessgerät dient zur spektralfotometrischen Analyse mit einem Messbereich von 400-700nm. Es besteht aus einer Basisstation und einem ergonomisch geformten Handstück. In der Basisstation ist eine Halterung für das Handstück und ein abnehmbarer Kalibrierungsblock integriert. In der Spitze des Handstücks ist eine fiberoptische Sonde und drei Spektralfotometer eingearbeitet. Die Sonde dient zur Belichtung des Messobjekts und zur Zahnfarbenbestimmung. Die Sonde wird hierzu an das Messobjekt angelegt und der manuelle Auslöser betätigt. In der Messsonde

sind Winkel- und Bewegungssensoren integriert. Diese kontrollieren, ob die Sonde fest und im rechten Winkel zur Oberfläche ausgerichtet ist. Die Geometrie der Sonde entspricht einer „0°/0° kreisförmigen Konstruktion“. Die Sonde hat einen Flächeninhalt von 19,63mm².

4. Methode

4.1 Versuchsaufbau Abutment

Die Messungen wurden unter standardisierten Laborbedingungen durchgeführt. Es wurde hierfür eine Tageslichtkabine verwendet, um tageszeitliche Lichtschwankungen zu vermeiden. Der Raum wurde mit 36W/650° K hellen Leuchtstoffröhren beleuchtet. Die angefertigten Keramikrestaurationen wurden in einem 30-minütigen Ultraschallbad von allen Verarbeitungsrückständen vollständig befreit. Die Messungen wurden von einem kalibrierten Untersucher durchgeführt, um eine standardisierte Vorgehensweise zu gewährleisten. Die Try in Paste wurde in die Krone eingebracht und die Krone auf das Abutment gesetzt. Es wurde darauf geachtet, dass bei jedem Vorgang überschüssiges Material an den Rändern austrat und keine Lufteinschlüsse beobachtet werden konnten. Überschüssiges Befestigungsmaterial wurde entfernt. Jede Kombination aus Kronenstärke, Kronenfarbe, Abutmentfarbe und Zementfarbe wurde 3 Mal gemessen. Hieraus entstanden N=6750 Messungen.

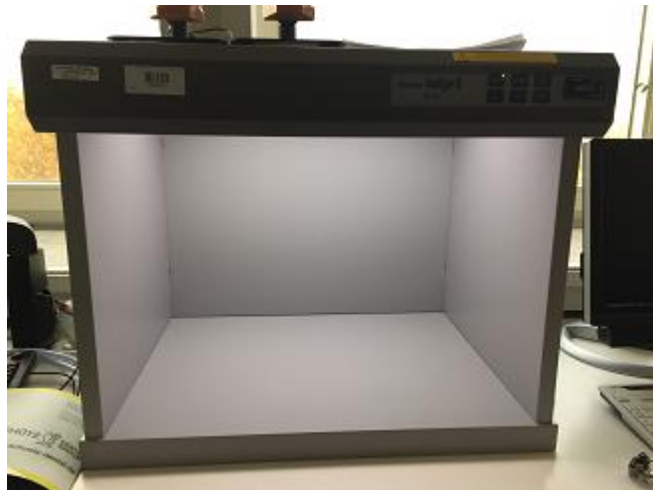


Abbildung 7: Tageslichtkabine Macbeth Judge

4.2 Versuchsaufbau Schleimhautmaske

Die Messungen wurden unter den gleichen, oben beschriebenen standardisierten Laborbedingungen durchgeführt. Die eigens hergestellte Schleimhautmaske wurde

auf das modifizierte Modell platziert und das Abutment eingesetzt. Jede Kombination aus Abutmentfarbe und Schleimhautstärke wurde 5 Mal gemessen. Daraus ergeben sich N=75 Messungen.

4.3 Spektralfotometrische Analyse

Die spektralfotometrische Analyse wurde mit Hilfe des VITA Easyshade advance 4.0 durchgeführt. Es wurde eine Repositionierungsschiene aus Silikon hergestellt, um eine eindeutige Repositionierung des Spektralfotometers zu gewährleisten. Das Gerät wurde über eine USB-Schnittstelle mit der Easyshade Helper Software verbunden. Das Messgerät wurde vor jedem Messvorgang und nach den oben genannten 3-maligen Messwiederholungen entsprechend den Herstellerangaben kalibriert. Zur Analyse der Zahnfarbe wurde der Einzelzahnmodus ausgewählt. Im Anschluss an eine erfolgreich ausgeführte Messung wurde die Übertragung der Daten in die Easyshade Helper Software kontrolliert und jeder Messung eine eindeutige Codierung aus der Kombination von Keramikstärke, Keramikfarbe, Abutmentfarbe und Zementfarbe zugewiesen. Auf diese Weise wurde ein Messprotokoll für jeden Messvorgang erstellt und gespeichert.

4.4 Statistische Auswertung

Bei der Auswertung zur Bestimmung der Farbe wurden die CIE L*a*b Koordinaten verwendet. Die erhobenen Daten wurden in Excel transferiert und bearbeitet. Hieraus wurde ΔE berechnet, um die Stärke der einzelnen Einflussfaktoren bestimmen zu können. Es wurde eine Referenz festgelegt, gegen die die Farbdifferenz berechnet wurde.

Tabelle 12: Übersicht über die Referenz entsprechend der Einflussfaktoren

<u>Referenz</u>	<u>Krone</u>
Keramikstärke	2mm
Keramikfarbe	A1
Zementfarbe	transparent
Abutmentfarbe	Shade00
Gingivastärke	2mm

Die Auswertung der gemessenen Daten wurde in Zusammenarbeit mit dem Institut für medizinische Biometrie, Epidemiologie und Informatik (IMBEI, Mainz, Deutschland) vorbereitet und betreut. Unter Verwendung des Statistikprogramms SPSS wurden die Messergebnisse ausgewertet. Ziel dieser Studie ist die Überprüfung folgender Nullhypothesen:

1. Die Reduktion der Keramikstärke korreliert mit der Zunahme der Farbdifferenz ΔE .
2. Im Vergleich zur transparenten Try In Paste nimmt mit dunkler werdender Try in Paste die Farbdifferenz ΔE zu.
3. Im Vergleich zur Keramikfarbe A1 steigt die Farbdifferenz ΔE bei dunkler werdender Keramikfarbe.
4. Im Vergleich zur Abutmentfarbe Shade 00 nimmt die Farbdifferenz ΔE mit dunkler werdender Abutmentfarbe zu.
5. Im Vergleich zur Gingivastärke 2mm nimmt die Farbdifferenz ΔE mit abnehmender Gingivastärke zu.

Mit der Formel $\Delta E = ((L_1 - L_2)^2 + (a_1 - a_2)^2 + (b_1 - b_2)^2)^{0,5}$ wurde die Farbdifferenz errechnet. Es wurde ein oberer Grenzwert mit $\Delta E = 1$ für einen wahrnehmbaren Farbunterschied bestimmt. Ebenso wurde mit $\Delta \leq 3,7$ ein Wert bestimmt, bei der die klinische Farbdifferenz als akzeptabel eingestuft wurde. Die Datensätze wurden nach den

untersuchenden Faktoren sortiert. Die Farbdifferenzen wurden ohne Veränderungen der anderen Faktoren berechnet. Für die errechneten ΔE Werte der Keramikstärke, Keramikfarbe, Abutmentfarbe und Zementfarbe erfolgte die einfaktorielle Varianzanalyse (ANOVA). Mit der post-hoc Bonferroni Untersuchung wurde die Mehrfachanalyse innerhalb des Faktors durchgeführt. Das Signifikanzniveau wurde mit $p=0,05$ festgelegt.

5. Auswertung

5.1 Auswerten der Messergebnisse

5.1.1 Einfluss der Keramikstärke auf die Farbdifferenz ΔE

Abbildung 8 zeigt ein Boxplot Diagramm. Auf der x-Achse sind die Keramikstärken aufgetragen, die im Vergleich zur Referenz von 2mm untersucht wurden. Auf der y-Achse befinden sich die errechneten Farbdifferenzen (ΔE).

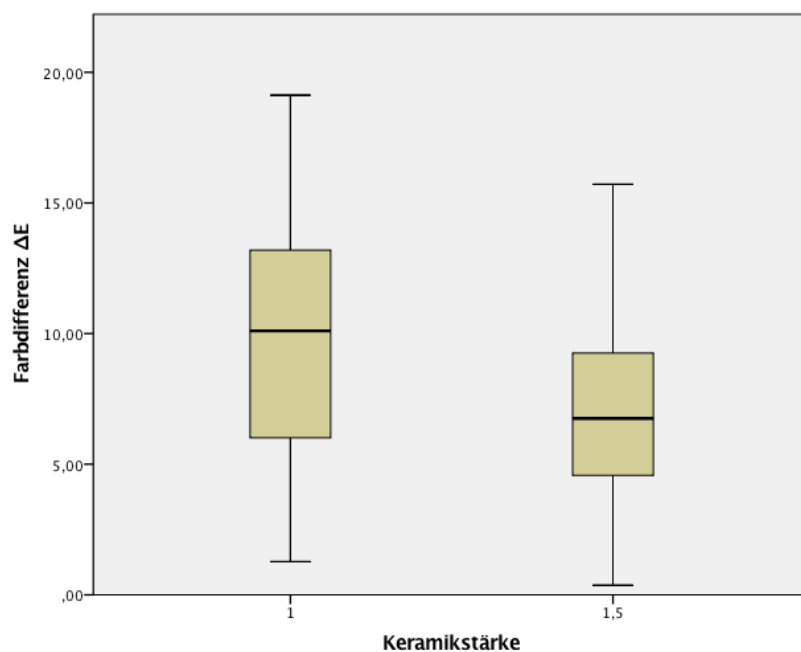


Abbildung 8: Das Boxplot Diagramm zeigt die resultierende Farbdifferenz (ΔE) bei der Verringerung der Keramikstärke von 2mm auf 1mm bzw. 2mm auf 1,5mm

Die Grafik zeigt den Einfluss der 1mm und 1,5mm Keramikstärke zur Referenz der 2mm Keramik auf die Farbdifferenz ΔE . Dieses Boxplot Diagramm veranschaulicht, dass die Zunahme der Keramikstärke einen direkten Einfluss auf die Reduktion der Farbdifferenz ΔE ausübt. Die Auswirkungen auf ΔE werden mit Abnahme der Keramikstärke größer. Der Unterschied zwischen den Vergleichsgruppen ist mit $p \leq 0,05$ statistisch signifikant.

5.1.2 Einfluss der Zementfarbe auf die Farbdifferenz ΔE

Das Boxplot Diagramm in Abbildung 9 veranschaulicht auf der x-Achse die Try In Pasten, die zur Referenz der Try in Paste transparent untersucht worden sind. Die Farbdifferenz ΔE befindet sich auf der y- Achse.

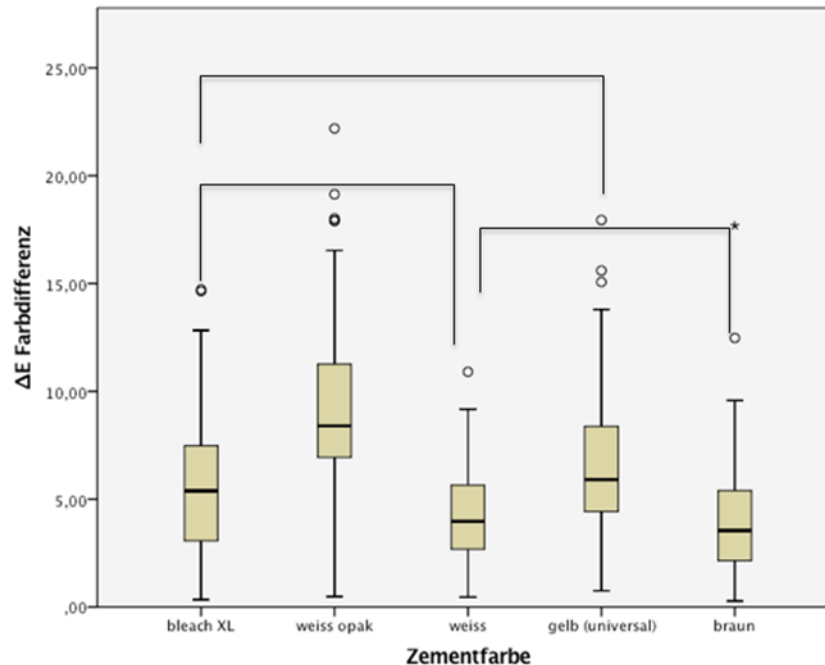


Abbildung 9: Das Boxplot Diagramm zeigt die resultierende Farbdifferenz ΔE der Try In Pasten im Vergleich zur Referenz Try In Paste transparent

Die Farbdifferenz ΔE steigt mit Zunahme der Opazität bzw. dem Farbpigmentenanteil an. Die ΔE -Werte für die Zementfarbe braun zeigen bei dieser Grafik eine Abweichung. Die geringsten Differenzen sind bei der Try In Paste braun versus transparent und die größten bei weiß opak versus transparent zu beobachten. Mit Ausnahme der Zementfarben bleach xl zu weiß, bleach xl zu gelb universal und weiß zu braun unterscheiden sich die Vergleichsgruppen statistisch signifikant ($p \leq 0,05$).

5.1.3 Einfluss der Keramikfarbe auf die Farbdifferenz ΔE

Die Grafik der Abbildung 10 vergleicht die Farbdifferenz ΔE der Keramikfarben von A2, A3, A3,5 und B2 zur Referenz von A1. Die Farbdifferenz ΔE ist auf der y-Achse eingezeichnet.

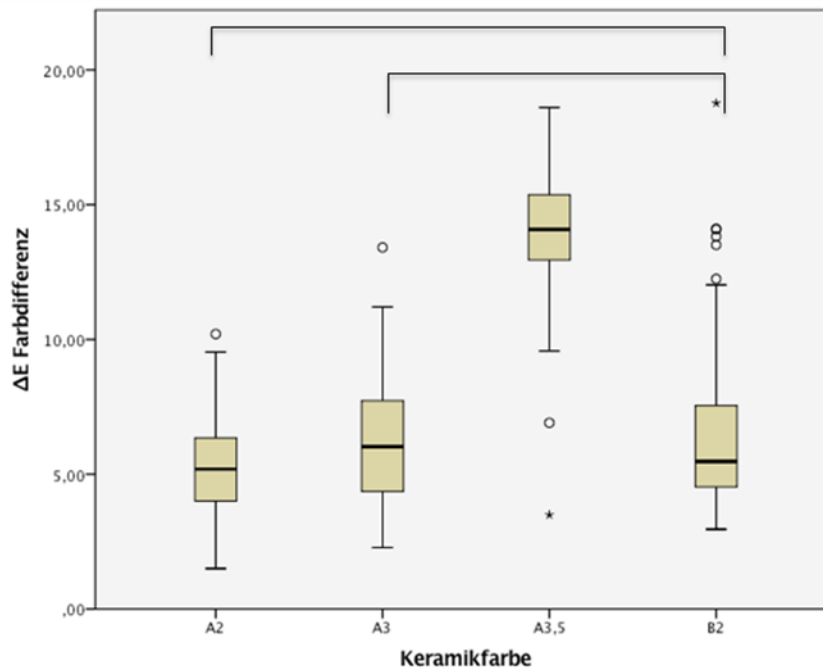


Abbildung 10: Das Boxplot Diagramm zeigt die Farbdifferenzen (ΔE) zwischen der Keramikfarbe A1 und A2, A3, A3,5 und B2

Die Farbdifferenz-Werte nehmen mit dunkler werdender Keramikfarbe zu. Alle ΔE -Werte sind mit einem $p\text{-Wert} \leq 0,05$ statistisch signifikant zueinander, mit Ausnahme der Farbe A2 und A3 zu B2. Die Farbe A 3,5 führt zur größten, die Farbe A2 zur geringsten Farbdifferenz. Das Ergebnis zwischen der Referenzkeramikfarbe A1 und den analysierten Keramikfarben ist klinisch nicht akzeptabel ($\Delta E < 3,7$).

5.1.4 Einfluss der Abutmentfarbe auf die Farbdifferenz ΔE

Das Boxplot Diagramm in Abbildung 11 vergleicht die unterschiedlichen Abutmentfarben. Hierzu wurden die errechneten Farbdifferenzwerte ΔE auf der y-Achse aufgetragen und die unterschiedlichen Abutmentfarben zur Referenz Shade 00 auf der x-Achse aufgezeichnet.

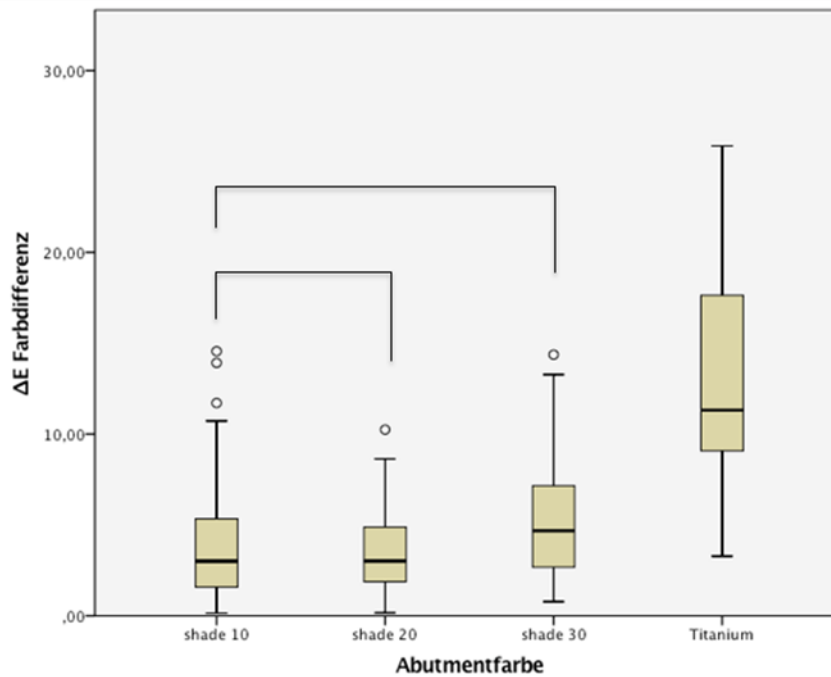


Abbildung 11: Das Boxplot Diagramm zeigt die Farbdifferenz ΔE zwischen der Abutmentfarbe Shade 00 und Shade 10, 20, 30 und Titanium

Die Abutmentfarbe Titanium zeigt die größte Farbdifferenz ΔE zu Shade 00. Die Abutmentfarben Shade 10 und 20 versus Shade 00 führen zu den geringsten Farbdifferenzwerten. Mit Helligkeitsabnahme der Zirkondioxidabutments nehmen die Farbdifferenzwerte zu. Die Farben Shade 10 und 20 versus Shade 00 führen zu klinisch akzeptablen ($\Delta E < 3,7$) Farbdifferenzen. Shade 10 zu Shade 20 und 30 sind mit einem p -Wert $> 0,05$ nicht signifikant. Der Unterschied des restlichen Gruppenvergleichs ist statistisch signifikant (p -Wert $\leq 0,05$).

5.1.5 Einfluss der Schleimhautstärke auf die Farbdifferenz ΔE

Die Grafik aus Abbildung 12 vergleicht die Farbdifferenz der Schleimhautstärken 1mm und 1,5mm zur Referenz von 2mm. Auf der x-Achse sind die Schleimhautstärken dargestellt, auf der y-Achse die Farbdifferenzen.

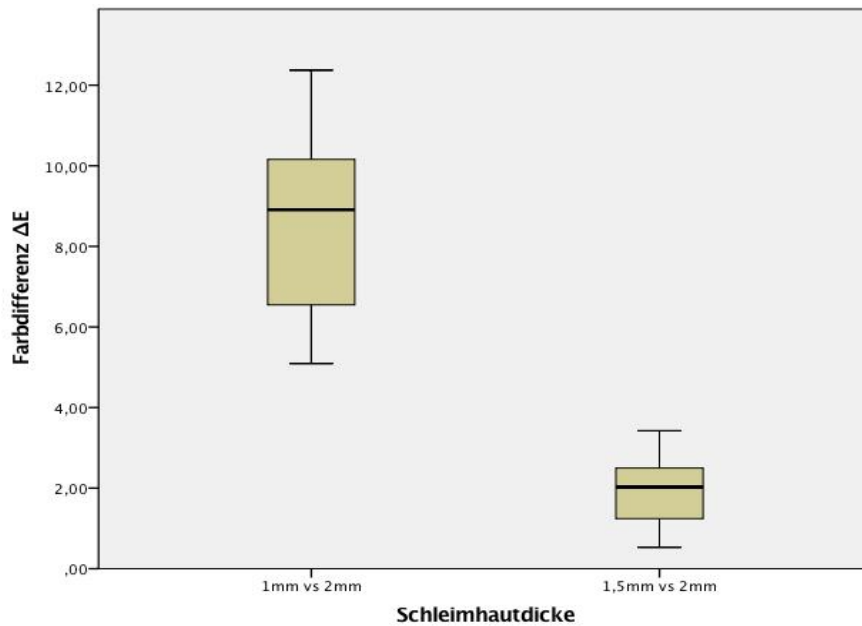


Abbildung 12: Das Boxplot Diagramm zeigt die Farbdifferenz der Schleimhautstärken 1mm und 1,5mm zur Referenz von 2mm

Die Reduktion der Schleimhautdicke von 2mm auf 1mm führt zu größeren ΔE -Werten, als die Schleimhautdicke von 1,5mm versus 2mm. Die Schleimhautstärke von 1,5mm versus 2mm führt mit $\Delta E < 3,7$ zu klinisch akzeptablen Farbdifferenzen. Die Differenz der Vergleichsgruppen ist statistisch signifikant ($p\text{-Wert} \leq 0,05$).

6.Diskussion

6.1 Methodenorientierte Diskussion

6.1.1 Versuchsaufbau

Der Versuchsaufbau wurde unter Standardbedingungen durchgeführt, die von der deutschen Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde in einer Stellungnahme veröffentlicht wurden [43, 125]. Diese standardisierten Umgebungsbedingungen stellen sicher, dass die Messergebnisse nicht von Umgebungsfaktoren und unterschiedlichen Lichtquellen beeinflusst werden. Im Rahmen dieser Studie wurden keramische Restaurationen hinsichtlich ihrer Indikation individuell hergestellt und mittels Spektrofotometer untersucht. Monolithische Lithium-Disilikat-Kronen zeigen beim Einsatz im Frontzahnggebiet gute Überlebensraten [43, 126]. Bei manuell hergestellten Keramikronen kann es durch den Schicht- bzw. Brennvorgang zu Farbabweichungen kommen, die bei industriell gesinterten Keramikronen entfallen. Des Weiteren verfügen die industriell gefertigten Kronen über eine homogene Struktur und eine gute Oberflächenbeschaffenheit [43, 116]. In der Zahnmedizin gibt es mehrere instrumentelle Farbmessgeräte. Hierzu gehören unter anderem das Spektrofotometer, Kolorimeter oder Softwaresysteme, die kamerabasiert arbeiten [127]. Das Spektrofotometer misst in Abhängigkeit der Wellenlänge das Licht, welches vom Prüfkörper reflektiert wurde. Aus dieser Information wird eine Remissionskurve ermittelt, anhand derer die Farbinformationen gezogen werden. Im CIE L*a*b-Farbraum lassen sich mit diesen Informationen eindeutige Farbkoordinaten zuordnen [116]. Die Farbunterschiede (ΔE -Werte) können nur durch gemessene Farbkoordinaten berechnet werden [128]. Die unterschiedlichen Farbmesssysteme unterscheiden sich nicht nur in der Datenverarbeitung, sondern auch bezüglich des Messverfahrens. Es lassen sich Punktmessgeräte von Flächenmessgeräten unterscheiden. Flächenmessgeräte registrieren den kompletten Zahn und entwerfen eine topographische Farbkarte. Durch den vorhandenen Abstand von Objekt zu Sensor sind die Messergebnisse stark von den Reflektionseigenschaften des Prüfobjektes abhängig. Fehlerfreie Ergebnisse kann man nur mit flachen, reflektionsarmen bzw. reflektionsfreien Prüfkörpern erzielen [127]. Das in dieser Studie verwendete VITA Easyshade advance ist ein

Spektralfotometer, das mittels Punktmessverfahren die CIE L*a*b-Farbkoordinaten bestimmt. Das Spektralfotometer registriert mit der optischen Blende nur einen Teil der Oberfläche (19,63mm²). Der Winkel, mit dem der Prüfkörper belichtet wird, beträgt 0°. Der reflektierte Anteil des Lichts wird ebenfalls in 0° registriert, was 0°/0° Messgeometrie genannt wird. Der Vorteil der Punktmesssysteme liegt an dem Kontakt von Sensor und Prüfkörper, wodurch Reflektionen an der Prüfoberfläche keinen Einfluss auf das Messergebnis ausüben. Dieser Aspekt ist bei in-vitro-Studien an keramischen Prüfkörpern besonders wichtig, da der Oberflächenglanz der Kronen keinen Effekt auf die ermittelten Messergebnisse haben soll. Der Nachteil der geringen Größe der optischen Blende ist, dass nur ein geringer Anteil an Licht eventuell die Oberfläche außerhalb des Sensors verlässt und es somit zu einem Verlust an Farbinformation kommt, sogenannter „edge loss effect“ [129]. Die Verwendung des VITA Easy Shade advance Spektralfotometer mit Punktmessverfahren zeigte sich für unsere Anforderungen als naheliegend.

In diesem Rahmen wurde eine Repositionierungsschiene aus Silikon angefertigt [130]. Diese Schiene garantiert eine reproduzierbare Position von Sensor zu Prüfkörper. Die Repositionierungsschiene dient hierbei nicht nur der Kontrolle der Instrumentenposition am Prüfkörper, sondern auch um den akkuraten Sitz von Krone auf Abutment gewährleisten zu können. In diesem Zusammenhang wurden die Keramikrestorationen provisorisch mit Try In Pasten auf den Abutments befestigt. Es werden von den Herstellern der adhäsiven Befestigungssysteme unterschiedliche Farben angeboten, die man mit Hilfe oben genannter Try in Pasten am Patient direkt temporär ausprobieren und auswählen kann. Die Farbe der Try In Pasten soll dem auspolymerisierten Zustand der adhäsiven Befestigung entsprechen. Es zeigte jedoch eine Studie von Al Ghazali et al., dass die Übereinstimmung von Try In Paste und Befestigungsmaterial kontrovers betrachtet werden muss. Er protokollierte einen signifikanten Unterschied von Try In Paste zu Befestigungsmaterial für die Systeme Calibra (Dentsply), Nexus (Kerr Corporation) und Rely-X (3M-ESPE) [131]. In einer Untersuchung von Xing et al. zeigten sich gute farbliche Übereinstimmungen ($\Delta E < 2$) zwischen Try In Paste und Befestigungsmaterial [130]. Ebenfalls eine gute farbliche Übereinstimmung erreichte das Variolink Veneer Befestigungssystem [132, 133]. Des Weiteren ist die rückstandlose Entfernung der Try In Paste für diese in-vitro-Simulation als vorteilhaft anzusehen.

Die Ergebnisse der unterschiedlichen Einflussfaktoren (Abutmentfarbe, Keramikfarbe, Keramikstärke und Zementfarbe) wurden in dieser Studie einzeln betrachtet. Wurde ein Einflussfaktor untersucht, variierten die übrigen Einflussfaktoren nicht und wurden gleich geschaltet. Wurde der Einflussfaktor Abutmentfarbe untersucht, so wurden die Faktoren Keramikfarbe, Keramikstärke und Zementfarbe nicht variiert. Ziel dieser Untersuchung war es, den Einfluss verschiedener Faktoren auf die Farbdifferenz ΔE zu untersuchen.

6.2 Ergebnisorientierte Diskussion

6.2.1 Einfluss der Keramikstärke

In dieser Studie konnte ein signifikanter Anstieg der Farbdifferenz (ΔE) bei sinkender Keramikstärke verzeichnet werden. Die keramischen Restaurationen wurden in den Stärken 1mm und 1,5mm zur Referenzstärke von 2mm untersucht. Die Reduktion der Keramikstärke führt zu einer Demaskierung der darunterliegenden Strukturen und stets zu einem Anstieg der Farbdifferenz (ΔE). Die Maskierung von Strukturen hängt wesentlich von den Materialeigenschaften der keramischen Restauration selbst ab. Je geringer der Anteil an diffus gestreutem Licht, desto opaker wirkt die Keramik. Diese Eigenschaften verändern sich entsprechend unterschiedlicher Keramiksysteme und Hersteller [43, 134, 135]. Sehr feste keramische Restaurationen aus Zirkondioxid eignen sich durch ihre hohe Opazität für ästhetisch anspruchsvolle Restaurationen im Frontzahnggebiet nur als Gerüststruktur für Verblendkeramiken [43, 134, 136]. Durch diese hohe Opazität und dem großen Anteil kristalliner Partikel ist die Maskierung darunterliegender Materialien möglich [43, 134, 137]. Im Rahmen dieser Untersuchung wurde die Farbdifferenz ΔE zwischen der Keramikstärke 2mm zu 1,5mm und 1mm berechnet. Die in dieser Studie verwendete Lithium-Disilikat Keramik weist eine breite Lichtstreuung auf und somit eine hohe Transluzenz, wodurch die maskierenden Eigenschaften geringer sind. Diese Lithium-Disilikat-Keramik kann, wie auch Feldspat- oder Leucit-verstärkte Keramik, per CAD/CAM-Verfahren in Zahnarztpraxen hergestellt werden [43, 138].

Analysiert man die Ergebnisse für die Farbveränderung der Keramikrestorationen an den vorliegenden Abutments, so ist stets eine Farbdifferenz $\Delta E > 3,7$ zu verzeichnen. Vergleicht man die Farbdifferenz der Keramikstärke von 2mm zu 1,5mm und 2mm zu 1mm fällt auf, dass die Farbdifferenz geringer ist. Der Grenzwert mit $\Delta E \leq 3,7$ für einen klinisch akzeptablen Farbdifferenzwert konnte jedoch in beiden Fällen nicht erreicht werden. Ähnliche Ergebnisse konnte Chaiyabutr et al. in einer Untersuchung belegen. Eine Keramikstärke von mindestens 2,5mm führte im Vergleich zu 1mm, 1,5mm und 2mm Keramikstärke zu den geringsten Farbabweichungen [111]. Vichi et al. berichtet, dass bei einer Keramikstärke von mindestens 2mm hinsichtlich der Farbdifferenz keine klinischen Unterschiede wahrgenommen werden können [114]. In einer Studie von Nakamura et al. konnte gezeigt werden, dass sich mit zunehmender Keramikstärke die Farbveränderung geringfügiger änderte. Hierbei wurden klinisch akzeptable Werte ($\Delta E \leq 3,7$) ab einer Keramikschichtstärke von 1,6mm erzielt [113]. Der Grund für die klinisch inakzeptablen Farbdifferenzwerte liegt in der Reduktion der Keramikschichtstärke und ein Anstieg der transluzenten Eigenschaften, was eine Verschiebung der CIE L^*a^*b Farbkoordinaten in Richtung der Abutmentfarbe bewirkt [43, 139, 140]. Zusätzlich müssen die optischen Eigenschaften der verwendeten Abutments berücksichtigt werden. Diese bestehen aus lichtundurchlässigem Zirkondioxid bzw. Titanium, welches stark von der Farbe der Keramikrestauration abweichen und so zu einer größeren Farbdifferenz bei entsprechender Reduktion der Keramikschichtstärke führt [43, 112]. Die endgültige Farbe eines transluzenten Keramiksystems ist stark von der Restaurationsstärke abhängig. Die Schichtstärke der Keramik ist wiederum durch die Dimensionierung der prothetischen Restauration und durch die Größe des Abutments limitiert. Für ein anspruchsvolles ästhetisches Ergebnis in der Frontzahnregion müssen die Maskierungseigenschaften des verwendeten Keramiksystems bekannt sein. Jedes Keramiksystem besitzt individuelle und charakteristisch optische Merkmale, die bei der Auswahl die klinische Situation berücksichtigen müssen [43]. Die erste Nullhypothese, dass die Abnahme der Keramikschichtstärke zu einer Zunahme der Farbdifferenz ΔE führt, kann bestätigt werden.

6.2.2 Einfluss der Zementfarbe

Im Zuge dieser Studie wurde die Auswirkung unterschiedlicher Befestigungsfarben (Try In Pasten) auf die Farbveränderung untersucht. Hierbei wurden glycerinhaltige Try In Pasten (Variolink II) in den Farben transparent, bleach XL, weiß, weiß opak, gelb (universal) und braun analysiert. Der Zementspalt betrug 0,1mm. Die Auswirkung auf die Farbrealisation der Try In Pasten wurde im Vergleich zur Farbe transparent ermittelt. Der geringste Farbunterschied ΔE konnte für die Befestigungsfarben transparent und weiß verzeichnet werden. Es konnte eine generelle wahrnehmbare Farbdifferenz ($\Delta E > 1$) bei allen Farben der Try In Pasten ermittelt werden. Die Try In Farben weiß und braun führten zu Werten im klinisch akzeptablen Bereich ($\Delta E < 3,7$). Die Try In Pasten bleach XL, weiß opak, und gelb (universal) führten im Vergleich zur Befestigungsfarbe transparent zu einer Verschiebung der CIE L*a*b Koordinaten in Richtung klinisch nicht akzeptabler Farbdifferenzwerte ($\Delta E > 3,7$). Alle Try In Pasten verursachten stets eine wahrnehmbare Farbdifferenz ($\Delta E > 1$). Diese Erkenntnis konnte auch in anderen Studien mit farblich unterschiedlichen Befestigungsmaterialien beobachtet werden [43, 112, 132, 141, 142]. In einer Studie von Azer et al. wurde gezeigt, dass die Verwendung der Befestigungskomposite weiß und transparent von Variolink II keinen signifikanten Effekt auf die endgültige Farbe einer IPS Empress Keramik (Zahnfarbe A2) ausübt [43, 143]. In einer anderen Untersuchung wurden IPS Empress Restaurationen (Farbe 110 Chromascope) mit dem Befestigungszement Rely X in der Zahnfarbe A1 und A3 einzementiert. Die Werte für die Farbveränderung lagen unterhalb des wahrnehmbaren Bereichs von $\Delta E \leq 1$ [43, 144]. Die unterschiedlichen Keramiksysteme unterscheiden sich hinsichtlich ihrer chemischen Struktur, des Anteils und der Größe kristalliner Partikel und ihrer optischen Eigenschaften. Diese herstellerindividuelle Zusammensetzung kann zu unterschiedlichen Brechungsindizes führen, so dass die Einflussfaktoren wie Zementfarbe stärker ins Gewicht fallen können [43, 142]. Ebenso kann die Farbzusammensetzung der Zemente sich unterschiedlich stark auf die Maskierungseffekte der Abutments ausüben. So maskieren opake Befestigungsmaterialien oder Materialien mit einem hohen Anteil an Farbpigmenten effektiver als helle oder transparente Zemente [43, 70, 145, 146, 150]. In einer Studie von Chang et al. konnte gezeigt werden, dass trotz gleicher Farbbezeichnung von verschiedenen Befestigungssystemen signifikant unterschiedliche CIE L*a*b Koordinaten gemessen wurden [43, 149]. Die in dieser

Studie untersuchten Keramikrestorationen auf Abutments zeigten, dass die Try In Pasten weiß und braun klinisch akzeptable Farbdifferenzwerte ($\Delta E < 3,7$) ergaben. Die übrigen Try In Pasten lagen über dem Wert für eine klinische Akzeptanz ($\Delta E > 3,7$). Der Effekt von Befestigungsmaterialien mit einer geringen Opazität ist signifikant kleiner bei Implantatkronen als bei Kronen auf Zahnstümpfen [43, 140, 147]. Vichy et al. fand heraus, dass die Farbe unterschiedlicher Befestigungsmaterialien nur einen sehr geringen Einfluss auf die Farbrealisation ausübt [114]. In einer weiteren Untersuchung von Dede et al. wurde die Auswirkung von Abutmentmaterial und Farbe des Befestigungsmaterials auf die Farbe von IPS e.max Press Keramikscheiben analysiert. Als Resultat konnte beobachtet werden, dass nur ein weiß opaker Befestigungskomposit ein Titan Abutment ausreichend maskieren konnte [43, 148]. Die Nullhypothese, dass im Vergleich zur transparenten Try In Paste bei dunkler werdender Try In Paste die Farbdifferenz (ΔE) ansteigt, konnte für alle Farben außer braun belegt werden. Ein möglicher Grund für diese Ausnahme könnte in einer geringeren Opazität und einem geringeren Farbanteil des braunen Befestigungsmaterials liegen.

6.2.3 Einfluss der Keramikfarbe

Der Einfluss der Keramikfarbe auf die Auswirkung der Farbwerte ist nur wenig untersucht. Größtenteils wird die Restaurationsfarbe an die Nachbarzähne angepasst. Durch verschiedene Maltechniken kann die Restauration individuell angepasst werden. Des Weiteren sind, hersteller- und materialabhängig unterschiedliche Transluzenzgrade erhältlich [43, 111]. Die meisten Studien beziehen sich auf diese Transluzenzgrade und die oben erwähnte Keramikstärke und nicht auf die Keramikfarbe [43, 111, 149]. Die Menge des absorbierten und gestreuten Lichts ist maßgeblich von dem Anteil und der Größe kristalliner Partikel, dem Farbpigmentezusatz sowie der chemischen Struktur der Keramik abhängig [43, 70, 150]. Im Zuge dieser Studie wurde die Farbdifferenz ΔE zwischen der Keramikfarbe A1 und A2, A3, A3,5 und B2 analysiert. Die Ergebnisse dieser Untersuchung zeigen, dass die Farbdifferenzwerte ΔE innerhalb der unterschiedlichen Keramikfarben signifikant ($p < 0,05$) unterschiedlich sind. Die einzige Ausnahme bildet die Keramikfarbe A2 und A3 zu B2 mit einem p-Wert $\geq 0,05$. Der Farbunterschied liegt bei allen analysierten Keramikfarben oberhalb des

Grenzwertes für ein klinisch akzeptables Ergebnis ($\Delta E < 3,7$). In Relation zu A1 konnte mit einer Abnahme der Helligkeit der Restaurationsfarbe eine Zunahme des Farbunterschiedes (ΔE) verzeichnet werden. Die große Menge an Kombinationsmöglichkeiten von Keramikfarbe und Transluzenzgrad macht die Auswahl des richtigen Keramiksystems sehr schwierig und unüberschaubar. Eine Reduktion der Anzahl an Keramiksystemen und die Entwicklung eines kompatiblen Systems für Malfarben könnte nicht nur für den Anwender, sondern auch für die Hersteller vorteilhaft sein. Trotz alledem ergeben sich signifikante Einflüsse auf die Farbveränderung ΔE durch die keramischen Restaurationen. Die 3. Nullhypothese, dass der Farbunterschied ΔE ansteigt bei dunkler werdender Keramikfarbe, konnte bestätigt werden.

6.2.4 Einfluss der Abutmentfarbe

Im Rahmen dieser Studie wurde die Farbveränderung ΔE durch 4 Zirkondioxidabutments (Shade 00, Shade 10, Shade 20 und Shade 30) und einem Titanabutment an Implantatrestorationen untersucht. Das Zirkondioxidabutment Shade 00 galt hierbei als Referenzabutment. Als Ergebnis sieht man eine Zunahme der Farbdifferenz ΔE bei Abnahme der Helligkeit der Abutments. Die Farbdifferenz (ΔE) der Abutments Shade 30 und Titanium liegen mit Werten über 3,7 in einem klinisch nicht akzeptablen Bereich ($\Delta E > 3,7$). Die Abutments Shade 10 und Shade 20 führten zu einer Verschiebung der CIE L*a*b Koordinaten innerhalb eines klinisch akzeptablen Bereiches ($\Delta E < 3,7$), jedoch oberhalb des Bereichs für einen wahrnehmbaren Farbunterschied ($\Delta E < 1$). Implantate werden, wenn eine zementierte Versorgung der Restauration angestrebt wird, am häufigsten mit Titanabutments versorgt. Der Grund hierfür liegt in der Evidenz der Stabilität, Langlebigkeit und Biokompatibilität [29, 43, 151, 152]. In der ästhetischen Frontzahnregion kann die Verwendung von Titanabutments zu unschönen Ergebnissen führen. Die optischen Eigenschaften dieser metallischen Abutments sind zu unterscheiden von den Eigenschaften natürlicher Zähne oder anderer Abutmentmaterialien [19]. In einer in-vitro Studie von Dede et al. wurde der Einfluss von Zirkondioxid-, Gold-, Palladium- und Titanabutments auf IPS e.max Press Prüfproben untersucht. Das Ergebnis zeigt, dass ausschließlich das Zirkondioxid- und das Goldabutment akzeptable Farbdifferenzwerte zur Referenzprobe lieferten [148]. Das Fazit dieser Studie besagt,

dass eine komplette Maskierung eines Titanabutments mit IPS e.max Prüfkörpern nicht möglich war. Diese Beobachtung konnte in der Literatur schon häufig dokumentiert werden. Die Ursache liegt hierbei in der verminderten Transmission und Reflektion des einfallenden Lichts durch das metallische Abutment [43, 46, 110, 113, 152]. Die optischen Eigenschaften von Zirkondioxid sind unterschiedlich zu denen von Titan. Dadurch erscheinen keramische Restaurationen insgesamt heller und weißer. Durch diese Erkenntnis muss bei implantatgetragenen Restaurationen die Verwendung von Titan- oder Zirkondioxidabutments kritisch hinterfragt werden. Die Vorteile von monolithischen Vollkeramiksystemen mit Zirkondioxidabutments, vor allem bei hochtransluzenten Keramiksystemen, sind im Vergleich zu Restaurationen mit Titanabutments abzuwägen [43, 113, 153]. Monolithische Keramiksysteme transmittieren und brechen das einfallende Licht stärker als herkömmliche Keramiksysteme [43, 112]. Je mehr einfallendes Licht die Keramik durchdringt, desto mehr beeinflusst die darunterliegende Struktur die optischen Eigenschaften der Keramik. Diese Lichtdurchlässigkeit ist abhängig von der Keramikstruktur [43, 111]. Durch die Transluzenz der Keramik wird die Komplexität der Farbenbestimmung von implantatgetragenen keramischen Restaurationen auf eine schwierige Ebene angehoben. In der Praxis ist es aus diesen Gründen ratsam, die genaue Farbbezeichnung oder das verwendete Abutment an das Zahnlabor zu übermitteln. Das Zahnlabor hat somit die Möglichkeit, die Farbe der Suprakonstruktion an die klinische Situation anzupassen. Die Kommunikation zwischen Zahnlabor und Behandler über Abutmentfarbe und Abutmentmaterial sind bei der Zahnfarbenbestimmung sehr wichtig, da, wie in dieser Studie gezeigt, unterschiedliche Abutmentfarben zu signifikant ($p < 0,05$) unterschiedlichen Farbdifferenzwerten führen. Die Nullhypothese, dass mit dunkler werdender Abutmentfarbe die Farbdifferenzwerte (ΔE) zunehmen, konnte belegt werden.

6.2.5 Einfluss der Schleimhautstärke

Die Ergebnisse bei dieser Studie belegen einen signifikanten Unterschied zwischen den ermittelten Farbdifferenzen ΔE , wenn die Gingivastärke reduziert wurde. Die Untersuchung bezog sich auf die Gingivastärken 1mm und 1,5mm zur Referenzschleimhautstärke von 2mm. Die Farbdifferenz ΔE nahm bei Abnahme der Gingivastärke stets zu. Betrachtet man die Werte der Farbveränderung für die

Schleimhautstärke 2mm versus 1mm, so fällt auf, dass das Ergebnis deutlich über dem Wert für die klinische Akzeptanz von $\Delta E < 3,7$ liegt. Die Abnahme der Gingivastärke führt zu einer Demaskierung der darunterliegenden Strukturen und kann zu deutlichen Farbdifferenzen führen. Ein Anstieg der Schleimhautstärke von 1mm zu 1,5mm zur Referenzstärke von 2mm führt zu einer signifikanten Reduktion der Farbveränderung. Die Farbdifferenz befindet sich im klinisch akzeptablen Bereich von $\Delta E < 3,7$, aber oberhalb des Grenzwertes für eine wahrnehmbare Farbveränderung ($\Delta E < 1$). Es gibt einige Studien, die gezeigt haben, dass die Zunahme der Gingivastärke zu einer effizienteren Maskierung von unter der Schleimhaut befindlichen Strukturen führt. Es können unterschiedliche Gingivabiotypen differenziert werden. Dicke Gingivabiotypen können Strukturen wirksamer maskieren als dünne Gingivabiotypen [119, 122, 124]. Die Maskierung hängt nicht nur alleine von der Stärke der Schleimhaut ab, sondern auch von den Materialeigenschaften der darunterliegenden Strukturen. So können helle Materialien aus Keramik wie Zirkondioxid besser maskiert werden als Titan. Hierbei gilt ebenso, je geringer der Anteil an diffus gestreutem Licht ist, desto opaker wirken keramische Strukturen [43]. Titan zeichnet sich durch eine erhöhte Absorption, verringerte Transmission und Reflektion aus [43, 46, 110, 113, 152]. Die Untersuchung von Jung et al. führte zu dem Ergebnis, dass sowohl Titan als auch Zirkondioxid unter einer Gingivastärke von 1,5mm, 2mm und 3mm zu farblichen Veränderungen der marginalen Gingiva führten. Durch Zunahme der Schleimhautstärke verringerten sich die Werte für die Farbdifferenz. Ab einer Stärke von 3mm konnten keine Farbveränderungen durch das menschliche Auge wahrgenommen werden ($\Delta E < 1$) [119]. In einer Studie von Happe et al. konnte ebenfalls gezeigt werden, dass die Verwendung von Titan und Zirkondioxid bei einer Gingivastärke von 1,5mm zu wahrnehmbaren Farbveränderungen ($\Delta E > 1$) führte. Die Ergebnisse für Zirkondioxid ergaben klinisch akzeptable Farbdifferenzwerte ($\Delta E < 3,7$), wohingegen die Ergebnisse von Titan deutlich über diesem Bereich lagen [120].

Die letzte Nullhypothese, dass mit der Abnahme der Schleimhautstärke eine Zunahme der Farbdifferenz ΔE einhergeht, konnte bestätigt werden.

7. Zusammenfassung

Das Ziel dieser Untersuchung war es, den Einfluss der Keramikstärke, Keramikfarbe, Befestigungsfarbe und Abutmentfarbe auf die Farbveränderung an monolithischen Lithium-Disilikat-Restaurationen zu analysieren. Hierfür wurden implantatgetragene Kronen nach ihrer klinischen Indikation in 3 unterschiedlichen Stärken und 5 unterschiedlichen Farben angefertigt. Die Keramikstärken betragen 1mm, 1,5mm und 2mm. Es wurden die Farben A1, A2, A3, A3,5 und B2 untersucht. Von jeder Farbe und Stärke wurden 5 identische Kronen hergestellt, so dass es insgesamt 150 Prüfkörper zu analysieren galt. Die Kronen wurden mit einer provisorischen glycerinhaltigen Try-In Paste von Variolink auf den Abutments befestigt. Die Paste wurde in den Farben bleach XL, transparent, weiß, weiß opak, gelb (universal) und braun überprüft. Die implantatgetragenen Kronen wurden temporär auf 4 Zirkondioxidabutments (Shade 00, Shade 10, Shade 20, Shade 30) und einem Titanabutment befestigt. Jede Kombination aus Keramikstärke, Keramikfarbe, Befestigungsfarbe und Abutmentfarbe wurde mit Hilfe eines dentalen Spektrofotometers von Vita 3 mal erfasst und ausgewertet. Die so gewonnenen CIE L*a*b Werte konnten genutzt werden, um eine Aussage über die Farbdifferenz durch unterschiedliche Einflussfaktoren treffen zu können. Für jeden Einflussfaktor wurde eine Referenz ausgewählt und gegen diese wurde die Farbveränderung ermittelt. Außerdem wurde zur statistischen Analyse der Farbdifferenz ΔE der Einflussfaktoren eine einfaktorielle Varianzanalyse (ANOVA) mit post-hoc Bonferroni Untersuchung durchgeführt.

Die Ergebnisse dieser Untersuchung ergaben, dass die Farbdifferenz ΔE der Keramikstärken signifikant ($p < 0,05$) zueinander sind. Eine Reduktion der Stärke von 2mm auf 1,5mm bzw. 1mm führt zu klinisch nicht akzeptablen Farbveränderungswerten ($\Delta E > 3,7$). Die Farbdifferenz ΔE wurde bei Reduktion der Keramikstärke größer.

Die Farbdifferenzen zwischen den untersuchten Keramikfarben führten alle zu klinisch nicht akzeptablen Werten ($\Delta E > 3,7$). Es konnte bei Abnahme der Helligkeit eine Zunahme der ΔE - Werte beobachtet werden. Die Verwendung der Befestigungszemente führte zu klinisch akzeptablen ($\Delta E < 3,7$), wie auch klinisch inakzeptablen Werte ($\Delta E > 3,7$) für die Farbveränderung. Betrachtet man die CIE

L*a*b Koordinaten fällt auf, dass die Try In Pasten bleach XI, weiß opak und gelb (universal) zu klinisch inakzeptablen Werten ($\Delta E > 3,7$) führten, die Farben weiß und braun klinisch akzeptabel ($\Delta E < 3,7$) waren. Es konnte gezeigt werden, dass bei allen Farben außer braun durch die Zunahme der Opazität oder Erhöhung des Farbpigmenteanteils ein Anstieg der Farbdifferenz ΔE hervorgerufen wird.

Wenn man den Einflussfaktor Abutmentfarbe betrachtet, fällt auf, dass die Farbdifferenz ΔE stetig mit Abnahme der Helligkeit ansteigt. Die Abutmentfarben Shade 10 und Shade 20 führten zu klinisch akzeptablen ($\Delta E < 3,7$), jedoch wahrnehmbaren Farbdifferenzen ($\Delta E > 1$). Klinisch nicht akzeptable Farbdifferenzen ($\Delta E > 3,7$) wurden bei der Abutmentfarbe Shade 30 und Titanium aufgezeichnet.

Die Gingiva wurde auf das Durchschimmern von unterschiedlichen Abutmentfarben untersucht. Hierbei wurden 3 Schleimhautmasken in der Stärke 1mm, 1,5mm und 2mm angefertigt. Die Messungen wurden mit 4 Zirkondioxidabutments (Shade00, Shade 10, Shade 20, Shade 30) und einem Titanabutment durchgeführt und mit einem dentalen Spektralfotometer aufgezeichnet. Als Referenz wurde die Schleimhautstärke 2mm festgelegt. Die hierbei gewonnenen CIE L*a*b Daten konnten die Farbdifferenzen zwischen den einzelnen Schleimhautstärken grafisch veranschaulichen. Die Grafik zeigt, dass die Farbdifferenz ΔE bei Abnahme der Gingivastärke ansteigt. Die Gingivastärke 1,5mm führte zu wahrnehmbaren ($\Delta E > 1$) aber klinisch akzeptablen Werten ($\Delta E < 3,7$). Die Ergebnisse zeigen, dass die Farbdifferenzen für die Schleimhautstärken mit $p < 0,05$ signifikant zueinander sind. Es konnte gezeigt werden, dass die Gingiva durchlässiger für darunter befindliche Strukturen ist, je dünner sie ist.

Die Erkenntnisse dieser Studie zeigen, wie komplex die Reproduktion und die Prognose für die Farbenbestimmung von Keramik durch unterschiedliche Einflussfaktoren ist. Dies ist vor allem auf die Eigenschaften wie Transluzenz, Opaleszenz, Absorptions- und Reflektionsverhalten der Materialien zurückzuführen. Diese Eigenschaften sollten bei Auswahl der geeigneten Keramik unbedingt mit in die Planung für ein optimales ästhetisches Ergebnis einbezogen werden. Handelt es sich bei der Restauration um eine implantatgetragene Variante, muss zusätzlich noch die Farbe bzw. das Material des verwendeten Abutments und die Schleimhautstärke beachtet werden. Geringe Farbabweichungen können mit der richtigen Auswahl eines adhäsiven Befestigungszementes kaschiert werden. Diese

Maskierung findet allerdings bei sehr transluzenten bzw. dünnen Restaurationen seine Limitierung. Die Ergebnisse dieser Studie zeigen, dass die Einflussfaktoren Keramikstärke, Keramikfarbe, Abutmentfarbe, Befestigungszement und Gingivastärke auf die Farbrealisation monolithischer Lithium-Disilikat-Kronen einen erheblichen Einfluss ausüben.

8. Literaturverzeichnis

- [1] Albrektsson T, Zarb G, Worthington P, Eriksson AR. The long-term efficacy of currently used dental implants: a review and proposed criteria of success. *Int J Oral Maxillofac Implants*. 1986 Summer;1(1):11-25.
- [2] Merz BR, Sutter F, Lang N. Implant dentistry-development and current focus. *Technol Health Care*. 1997 Jul;5(3):191-7.
- [3] Taylor TD, Agar JR, Vogiatzi T. Implant prosthodontics: current perspective and future directions. *Int J Oral Maxillofac Implants*. 2000 Jan-Feb;15(1):66-75.
- [4] Bishti S, Strub JR, Att W. Effect of the implant-abutment interface on peri-implant tissues: A systematic review. *Acta Odontol Scand*. 2014 Jan;72(1):13-25.
- [5] Schropp L, Kostopoulos L, Wenzel A, Isidor F. Clinical and radiographic performance of delayed-immediate single-tooth implant placement associated with peri-implant bone defects. A 2-year prospective, controlled, randomized follow-up. *J Clin Periodontol*. 2005 May;32(5):480-7.
- [6] Berglundh T, Persson L, Klinge B. A systematic review of the incidence of biological and technical complications in implant dentistry reported in prospective longitudinal studies of at least 5 years. *J Clin Periodontol*. 2002;29 Suppl 3:197-212.
- [7] Newman MG. The single-tooth implant as a standard of care. *Int J Oral Maxillofac Implants*. 1999 Sep-Oct;14(5):621-2.
- [8] Tarnow DP, Eskow RN. Preservation of implant esthetics: Soft tissue and restorative considerations. *J Esthet Dent*. 1996;8(1):12-9.
- [9] Jung RE, Holderegger C, Sailer I, Khraisat A, Suter A, Hämmerle C. Der Einfluss von Vollkeramik- und Verbund-Metall-Keramik-Rekonstruktionen auf die Farbe des marginalen periimplantären Weichgewebes: Eine randomisierte kontrollierte klinische Studie. *Int J Periodontics Restorative Dent*. 2008 Aug;28(4):357-65.
- [10] Buser D, Martin W, Belse, UC. Optimizing esthetics for implant restorations in the anterior maxilla: anatomic and surgical considerations. *Int J Oral Maxillofac Implants*. 2004;19 Suppl:43-61.
- [11] Chang M, Wennström JL, Odman P, Andersson B. Implant supported single tooth replacements compared to contralateral natural teeth. Crown and soft tissue dimensions. *Clin Oral Implants Res*. 1999 Jun;10(3):185-94.
- [12] Jun S, Ahn J, Chang B, Lee J, Ryu J, Kwon J. In-vivo Messungen der Transluzenzparameter der humanen Gingiva. *Int J Paro Rest ZHK* 33 (2013), Nr. 4.

-
- [13] Furhäuser R, Florescu D, Benesch T, Haas R, Mailath G, Watzek G. Evaluation of soft tissue around single-tooth implant crowns: the pink esthetic score. *Clin Oral Implants Res.* 2005 Dec;16(6):639-44.
- [14] Sailer I, Zembic A, Jung RE, Hämmerle CH, Mattiola. A single tooth implant reconstructions: esthetic factors influencing the decision between titanium and zirconia abutments in anterior regions. *Eur J Esthet Dent.* 2007 Autumn;2(3):296-310.
- [15] Belser UC, Grütter L, Vailati F, Bornstei, MM, Weber HP, Buser D. Outcome evaluation of early placed maxillary anterior single-tooth implants using objective esthetic criteria: A cross-sectional, retrospective study in 45 patients with a 2- to 4-year follow-up using pink and white esthetic scores. *J Periodontol.* 2009 Jan;80(1):140-51.
- [16] Gehrke P. Mythos Implantatästhetik. *Dental Magazin;* 2008, 5: 46-49.
- [17] Meijer HJ, Stellingsma K, Meijndert L, Raghoobar GM. A new index for rating aesthetics of implant-supported single crowns and adjacent soft tissues – the Implant Crown Aesthetic Index. *Clin Oral Implants Res.* 2005 Dec;16(6):645-9.
- [18] Jacobsson M, Albreksson T. Resultate des Branemark Implantats. *Zahnärztl. Implantol IV (1988),* 165-166.
- [19] Gahlert M, Röhling S, Wieland M, Sprecher CM, Kniha H, Milz S. Osseointegration of zirconia and titanium dental implants: a histological and histomorphometrical study in the maxilla of pigs. *Clin Oral Implants Res.* 2009 Nov;20(11):1247-53.
- [20] Deutsche Gesellschaft für Mund-Kiefer und Zahnheilkunde: Implantologie in der Zahnheilkunde
- [21] Kassenzahnärztliche Bundesvereinigung: Implantate: Einsatzmöglichkeiten-Indikationsbereiche (<http://www.kzbv.de/einsatzmoeglichkeiten-Indikationsbereiche.125.de.html>)
- [22] Carrillo de Albornoz A, Vignoletti F, Ferrantino L, Cardenas E, De Sanctis M, Sanz M. A randomized trial on the aesthetic outcomes of implant-supported restorations with zirconia or titanium abutments. *J Clin Periodontol.* 2014 Dec;41(12):1161-9.
- [23] Furze D, Byrne A, Donos N, Mardas N. Clinical and esthetic outcomes of single-tooth implants in the anterior maxilla. *Quintessence Int.* 2012 Feb;43(2):127-34.
- [24] Gehrke P, Degidi M, Lulay-Saad Z, Stom DG. Reproducibility of the Implant Crown Aesthetic Index- Rating Aesthetics of single-implant crowns and adjacent soft

tissues with regard to observer dental specialization. Clin Implant Dent Relat Res. 2009 Sep;11(3):201-13.

[25] Kassenzahnärztliche Bundesvereinigung (KZBZ) :Zahnersatz allgemeine Voraussetzungen-Kontraindikationen (<http://www.kzbv.de/allgemeine-voraussetzungen-kontraindikationen.127.de.html>)

[26] Kassenzahnärztliche Bundesvereinigung (KZBV): Was sind Implantate

[27] Dental Magazin AB 11.11.2013, Implantologie: Welches System ist das richtige (http://www.dentalmagazin.de/expertenzirkel/Implantologie-Welches-System-ist-das-richtige_153517.html#1)

[28] Zahnimplantate Arztsuche: einteilige Implantate (<https://www.zahnimplantate-arztsuche.de/implantat-arten/einteilige-implantate/>)

[29] Albrektsson T, Donos N. On behalf of Working Group 1, implant survival and complications. The third EAO consensus conference 2012. Clin Oral Implants Res. 2012 Oct;23 Suppl 6:63-5.

[30] Borgonovo AE. Überlebens- und Erfolgsraten dentaler Zirkonimplantaten. Dentale Implantologie und Parodontologie 2012, 12.11.2012

[31] Payer M, Heschl A, Koller M, Arnetzl G, Lorenzoni M, Jakse N. All-ceramic restoration of zirconia two-piece implants- a randomized controlled clinical trial. Clin Oral Implants Res. 2015 Apr;26(4):371-376.

[32] Depprich R, Naujoks C, Ommerborn M, Schwarz F, Kübler NR, Handschel J. Current findings regarding zirconia implants. Clin Implant Dent Relat Res. 2014 Feb;16(1):124-37.

[33] Buch RS, Weibrich G, Wagner W, Criteria of success in Implantology. Mund Kiefer Gesichtschir. 2003 Jan;7(1):42-6.

[34] Happe A, Körner G. Implantologische Frontzahnversorgungen unter ästhetischen Gesichtspunkten – Erfolgs- und Risikofaktoren. Quintessenz 2011;62(5):667–679

[35] Müller HP, Heinecke A, Schaller N, Eger T. Masticatory mucosa in subjects with different periodontal phenotypes. J Clin Periodontol 2000;27:621-626.

[36] Dawson A, Chen S, Buser, Cordaro L, Martin W, Belser U. Die SAC-Klassifikation in der zahnärztlichen Implantologie. Quintessenz Berlin, 2011

[37] Hermann F. Periimplantärer Gewebeerhalt- eine Frage des richtigen Zeitpunktes. ZMK, Jg. 27, Ausgabe 10, Oktober 2011.

-
- [38] Kelly JR, Denry I. Stabilized zirconia as a structural ceramic: an overview. *Dent Mater.* 2008 Mar;24(3):289-98.
- [39] Schulte W, d'Hoedt B, Axmann D, Gomez-Roman G. 15 Jahre Tübinger Implantat und seine Weiterentwicklung zum Frialit-2 System. *Z Zahnärztl Implantol* 8:77-96.
- [40] Graber G, Besimo CH. Das DCS-Hochleistungskeramiksystem: Ein neuer Weg zur computergestützten Herstellung von metallfreien Zirkonoxid-Kronen und Brücken. *Quintessenz Zahntech* 20 (1994), Nr. 1, 1. Jan. 1994.
- [41] Filser F, Lüthy H, Schärer P, Gauckler L. All ceramic dental bridges by direct ceramic machining. *Bioceramics* vol. 10. Pergamon Press/ Elsevier Science Ltd, Oxford, pp 433–436 (1997).
- [42] Witkowski S. High-tech Biokeramiken für die Zukunft. *Quintessenz Zahntechnik* 1/2006, S. 66-76.
- [43] Igiel C, Scheller H. In-vitro Untersuchung zur Farbrealisation unterschiedlicher Einflussfaktoren im VITA Mark II Vollkeramik-System
- [44] Cionca N, Müller N, Mombelli A. Two-piece zirconia implants supporting all-ceramic crowns: A prospective clinical study. *Clin Oral Implants Res.* 2015 Apr;26(4):413-418.
- [45] Fenner N, Hämmerle CH, Sailer I, Jung RE. Long-term clinical, technical, and esthetic outcomes of all ceramic vs. titanium abutments on implant supporting single-tooth reconstructions after at least 5 years. *Clin Oral Implants Res.* 2016 Jun;27(6):716-23.
- [46] Sailer I, Philipp A, Zembic A, Pjetursson BE, Hämmerle CH, Zwahlen M. A systematic review of the performance of ceramic and metal implant abutments supporting fixed implant reconstructions. *Clin Oral Implants Res.* 2009 Sep;20 Suppl 4:4-31.
- [47] Andersson B, Taylor A, Lang BR, Scheller H, Scharer P, Sorensen JA; Tarnow D. Alumina ceramic implant abutments used for single-tooth replacement: a prospective 1- to 3-year multicenter study. *Int J Prosthodont.* 2001 Sep-Oct;14(5):432-8.
- [48] Zembic A, Sailer I, Jung RE, Hämmerle CH. Randomized-controlled clinical trial of customized zirconia and titanium implant abutments for single-tooth implants in canine and posterior regions: 3-year results. *Clin Oral Implants Res.* 2009 Aug;20(8):802-8.

-
- [49] Manicone PF, Rossi Iometti P, Rafaelli L, Paolantonio M, Rossi G, Berardi D, Perfetti G. Biological considerations on the use of zirconia for dental devices. *Int J Immunopathol Pharmacol*. 2007 Jan-Mar;20(1 Suppl 1):9-12.
- [50] Sailer I, Zembic A, Jung RE, Siegenthaler D, Holderegger C, Hammerle CH. Randomized controlled clinical trial of customized zirconia and titanium implant abutments for canine and posterior single-tooth implant reconstructions: preliminary results at 1 year of function. *Clin Oral Implants Res*. 2009 Mar;20(3):219-25.
- [51] Wyble DR, Rich DC. Evaluation of methods for verifying the performance of color-measuring instruments. Part II: Inter-instrument reproducibility. Wiley Periodicals, Inc., 25 April 2007
- [52] Fani G, Vichi A, Davidson CL. Spectrophotometric and visual shade measurements of human teeth using three shade guides. *Am J Dent*. 2007 Jun;20(3):142-6.
- [53] Tartsch, J. Keramik als Alternative zu Titan. *Dentale Implantologie und Parodontologie*, 25.06.2019.
- [54] Scarano A, Piattelli M, Caputi S, Favero GA, Piattelli A. Bacterial adhesion on commercially pure titanium and zirconium oxide disks: An in vivo human study. *J Periodontol*. 2004 Feb;75(2):292-6.
- [55] Ichikawa Y, Akagawa Y, Nikai H, Tsuru H. Tissue compatibility and stability of a new zirconia ceramic in vivo. *J Prosthet Dent*. 1992 Aug;68(2):322-6.
- [56] Roehling S, Astatov-Frauenhoffer M, Hauser-Gerspach I, Braissant O, Woelfler H, Waltimo T, Kniha H, Gahlert M. In vitro biofilm formation on titanium and zirconia implant surfaces. *J Periodontol*. 2017 Mar;88(3):298-307.
- [57] Kajiwara N, Masaki C, Mukaibo T, Kondo Y, Nakamoto T, Hosokawa R. Soft tissue biological response to zirconia and metal implant abutments. *Implant Dent*. 2015 Feb;24(1):37-41.
- [58] Horn DJ, Bulan-Brady J, Hicks ML. Sphere spectrophotometer versus human evaluation of tooth shade. *J Endod*. 1998 Dec;24(12):786-90.
- [59] Kielbassa AM, Beheim-Schwarzbach NJ, Neumann K, Nat R, Zantner C. In vitro comparison of visual and computer-aided pre- and post-tooth shade determination using various home bleaching procedures. *J Prosthet Dent*. 2009 Feb;101(2):92-100.
- [60] Andersson B, Glauser R, Maglione M, Taylor A. Ceramic implant abutments for short span fpds: a prospective 5-year multicenter. *Int J Prosthodont*. 2003 Nov-Dec;16(6):640-6.

-
- [61] Commission internationale de l'éclairage colourimetry; Official recommendations of the international commission on illumination
- [62] Brümmer H. Einige Grundbegriffe der Farbenlehre, der Farbensysteme und des Farbmanagements. 7/2004
- [63] Kim IJ, Lee YK, Lim BS, Kim CW. Effect of surface topography on the color of dental porcelain. *J Mater Sci Mater Med.* 2003 May;14(5):405-9.
- [64] Fischer B, Schrey M, Wüller D. Untersuchung der Farbabstandsformeln des CieLab Farbraums auf ihre Eignung, Farbrauschen quantitativ und physiologisch richtig zu beschreiben. Köln, Juli 2002.
- [65] Yilmaz B, Karaagaclioglu L. Comparison of visual shade determination and an intra-oral dental colourimeter. *J Oral Rehabil.* 2008 Oct;35(10):789-94.
- [66] Wyszecki G, Stiles WS. Colour science concepts and methods, quantitative data and formulae. Wiley, 1967.
- [67] Haywood VB, Leonard RH, Nelson CF, Brunson WD. Effectiveness side effects and long-term status of nightguard vital bleaching. *J Am Dent Assoc.* 1994 Sep;125(9):1219-26.
- [68] Tanoue N, Koish Y, Atsuta M, Matsumura H. Properties of dual-curable luting composites polymerized with single and dual curing modes. *J Oral Rehabil.* 2003 Oct;30(10):1015-21.
- [69] Seghi RR, Hewlett ER, Kim J. Visual and instrumental colorimetric assessments of small colour differences on translucent dental porcelain. *J Dent Res.* 1989 Dec;68(12):1760-4
- [70] Seghi RR, Johnston WM, O'Brien WJ. Spectrophotometric analysis of color differences between porcelain systems. *J Prosthet Dent.* 1986 Jul;56(1):35-40.
- [71] O'Brien WJ. Dental materials and their selection. Quintessence Publishing Co, Inc., 2002.
- [72] Tung FF, Goldstein GR, Jang S, Hittelman E. The repeatability of an intraoral dental colourimeter. *J Prosthet Dent.* 2002 Dec;88(6):585-90.
- [73] Kuehni RG, Marcus RT. An experiment in visual scaling of small color differences. Wiley Periodicals, 1979.
- [74] Johnston WM, Kao EC. Assessment of appearance match by visual observation and clinical colorimetry. *J Dent Res.* 1989 May;68(5):819-22.

-
- [75] Wischerath T, Jakstat HA. Unterschiede der elektronischen Zahnfarbbestimmung zwischen dem Zahnarzt und den zahnmedizinischen Fachangestellten. *Universitätszahnmedizin Leipzig*, 21.08.2018.
- [76] Di Rocco D. Das Cerec-System im Praxisalltag. *Schweiz Monatsschr Zahnmed* Vol. 119, 7/2009.
- [77] Goodkind RJ, Schawabacher WB. Use of a fiber-optic colorimeter for in vivo colour measurements of 2830 anterior teeth. *J Prosthet Dent*. 1987 Nov;58(5):535-42.
- [78] Hammad IA, Stein RS. A qualitative study for the bond and colour of ceramometals part II. *J Prosthet Dent*. 1991 Feb;65(2):169-79.
- [79] Hassel AJ, Grossmann AC, Schmitter M, Balke Z, Buzello AM. Interexaminer reliability in clinical measurement of L*C*h values of anterior teeth using a spectrophotometer. *Int J Prosthodont*. 2007 Jan-Feb;20(1):79-84.
- [80] WEE AG, Monaghan P, Johnston WM. Variation in colour between intended matched shade and fabricated shade of dental porcelain. *SADJ*. 2011 Sep;66(8):370, 372-4, 376-8.
- [81] Okubo SR, Kanawati A, Richards MW, Childress S. Evaluation of visual and instrument shade matching. *J Prosthet Dent*. 1998 Dec;80(6):642-8.
- [82] Culpepper WD. A comparative study of shade-matching procedures. *J Prosthet Dent*. 1970 Aug;24(2):166-73.
- [83] Sproull RC. Color matching in dentistry: Part I. The three-dimensional nature of color. *J Prosthet Dent*. 2001 Nov;86(5):453-7.
- [84] Sproull RC. Color matching in dentistry: Part II. Practical applications of the organization of color. *J Prosthet Dent*. 2001 Nov;86(5):458-64.
- [85] Sproull RC. Color matching in Dentistry: Part III. Color control. *The Journal of Prosthetic Dentistry* Volume 31, Issue 2, February 1974.
- [87] Chu SJ. Precision shade technology: contemporary strategies in shade selection. *Pract Proced Aesthet Dent*. 2002 Jan-Feb;14(1):79-83
- [88] Pensler AV. Shade selection: problems and solution. *Compend Contin Educ Dent*. 1998 Apr;19(4):387-90
- [89] Barna GJ, Taylor JW, King G, Pelleu GB. The influence of selected light intensities on color perception within the color range of natural teeth. *J Prosthet Dent*. 1981 Oct;46(4):450-3.

-
- [90] Gehrke P, Riekeberg U, Fackler O, Dhom G. Comparison of in vivo visual, spectrophotometric and colorimetric shade determination of teeth and implant-supported crowns. *Int J Comput Dent.* 2009;12(3):247-63.
- [91] Hammad IA. Intra-rater repeatability of shade selections with two shade guides. *J Prosthet Dent.* 2003 Jan;89(1):50-3.
- [92] Geary JL, Kinirons MJ. Use of a common shade guide to test the perception of differences in the shades and value by members of the dental team. *Prim Dent Care.* 1999 Jul;6(3):107-10.
- [93] Bayindir F, Kuo S, Johnston WM, Wee AG. Coverage error of three conceptually different shade guide systems to vital unrestored dentition. *J Prosthet Dent.* 2007 Sep;98(3):175-85
- [94] O'Brien WJ, Boenke KM, Groh CL. Coverage errors of two shade guides. *Int J Prosthodont.* 1991 Jan-Feb;4(1):45-50.
- [95] Li Q, Wang Y. Comparison of shade matching by visual observation and an intraoral dental colourimeter. *J Oral Rehabil.* 2007 Nov;34(11):848-54.
- [96] Chu SJ. Use of a reflectance spectrophotometer in evaluating shade change resulting from tooth-whitening products. *J Esthet Restor Dent.* 2003;15 Suppl 1:S42-8.
- [97] Analytika Jena. Instrumentation und Techniken der UV VIS Spektroskopie. Springer-Verlag Berlin Heidelberg 1986, LABORATORIUM, volume 21.
- [98] O'Brien WJ. Double layer effect and other optical phenomena related to esthetics. *Dent Clin North Am.* 1985 Oct;29(4):667-72.
- [99] Petrobon N, Paul SJ. All-ceramic restorations: a challenge for anterior aesthetics. *J Esthet Dent.* 1997;9(4):179-86.
- [100] Paul SJ, Petrobon N. Aesthetic evolution of anterior maxillary crowns: A literature review. *Pract Periodontics Aesthet Dent.* 1998 Jan-Feb;10(1):87-94.
- [101] Kelly JR, Nishimura I, Campbell SD. Ceramics in dentistry: Historical roots and current perspectives. *J Prosthet Dent.* 1996 Jan;75(1):18-32.
- [102] Tamse A. Iatrogenic vertical root fractures in endodontically treated teeth. *Endod Dent Traumatol.* 1988 Oct;4(5):190-6.
- [103] Chiche GJ, Pinault A. Aesthetics of anterior fixed prosthodontics. Quintessence Publishing, 1994.
- [104] Douglas R, Przybylska M. Predicting porcelain thickness required for dental shade matches. *J Prosthet Dent.* 1999 Aug;82(2):143-9.

-
- [105] Rosenstiel SF, Johnston WM The effects of manipulative variables on the color of ceramic metal restorations. *J Prosthet Dent.* 1988 Sep;60(3):297-303.
- [106] Brewer JD, Glennon JS, Garlago DA. Spectrophotometric analysis of a non-greening, metal-fusing porcelain. *J Prosthet Dent.* 1991 May;65(5):634-41.
- [107] Brewer JD, Akers CK, Garlapo DA, Sorensen SE. Spectrometric analysis of the influence of metal substrates on the color of metal-ceramic restorations. *J Dent Res.* 1985 Jan;64(1):74-7.
- [108] Barghi N, Richardson JT. A study of various factors influencing shade of bonded porcelain. *J Prosthet Dent.* 1978 Mar;39(3):282-4.
- [109] Herzberg TW, Gettleman L, Webber RL, Moffa JP. Effect of metal surface treatment on the masking power of opaque porcelain. *J Dent Res.* 1972 Mar-Apr;51(2):468-72.
- [110] Jorgenson MW, Goodkind RJ. Spectrophotometric study of five porcelain shades relative to dimensions of colour, porcelain thickness and repeated firings. *J Prosthet Dent.* 1979 Jul;42(1):96-105.
- [111] Chaiyabutr Y, Kois J, 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. *J Prosthet Dent.* 2011 Feb;105(2):83-90.
- [112] Turgut S, Bagis B, Ayaz EA. Achieving the desired colour in discoloured teeth, using leucite-based CAD-CAM laminate systems. *J Dent.* 2014 Jan;42(1):68-74.
- [113] Nakamura T, Saito O, Fuyikawa S, Ishigaki S. Influence of abutment substrate and ceramic thickness on the colour of heat-pressed ceramic crowns. *J Oral Rehabil.* 2002 Sep;29(9):805-9
- [114] Vichi A, Ferrari M, Davidson CL. Influence of ceramic and cement thickness on the masking of various types of opaque posts. *J Prosthet Dent.* 2000 Apr;83(4):412-7.
- [115] Antonson SA, Anusavice KJ. Contrast ratio of veneering and core ceramics as a function of thickness. *Int J Prosthodont.* 2001 Jul-Aug;14(4):316-20.
- [116] 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. *J Prosthet Dent.* 2003 Dec;90(6):563-70.

-
- [117] Heffernan MJ, Aquilino SA, Diaz-Arnold AM, Haselton DR, Stanford CM, Vargas MA. Relative translucency of six all-ceramic systems. Part 1: core materials. *J Prosthet Dent.* 2002 Jul;88(1):4-9.
- [118] Du Y, Tan JG, Wang FP, Tan Y, Zhou JF. Precision and accuracy of a dental spectrophotometer in gingival color measurement of maxillary anterior gingival. *Beijing Da Xue Xue Bao Yi Xue Ban.* 2012 Aug 18;44(4):622-7.
- [119] Jung RE, Sailer I, Hämmerle CH, Attin T, Schmidlin P, PD. Durch Restaurationsmaterialien verursachte In-Vitro-Farbveränderungen des Weichgewebes. *Int J Paro Rest ZHK* 27 (2007), Nr. 3.
- [120] Bressan E, Paniz G, Lops D, Corazza B, Romeo E, Favero . Influence of abutment material on the gingival color of implant-supported all-ceramic restorations: a prospective multicenter study. *Clin Oral Implants Res.* 2011 Jun;22(6):631-7.
- [121] Park SE, Da Silva JD, Weber HP, Ishikawa-Nagai S. Optical phenomenon of peri-implant soft tissue. Part I. Spectrophotometric assessment of natural tooth gingival and peri-implant mucosa. *Clin Oral Implants Res.* 2007 Oct;18(5):569-74. Epub 2007 Jul 26.
- [122] Ishikawa-Nagai S, Da Silva JD, Weber HP, Park SE. Optical phenomenon of peri-implant soft tissue. Part II. Preferred implant neck color to improve soft tissue esthetics. *Clin Oral Implants Res.* 2007 Oct;18(5):575-80. Epub 2007 Jul 26.
- [123] Paniz G, Bressan E, Stellini E, Romeo E, Lops D. Correlation between subjective and objective evaluation of peri-implant soft tissue color. *Clin Oral Implants Res.* 2014 Aug;25(8):992-6.
- [124] Happe A, Schulte-Mattler V, Strassert C, Naumann M, Stimmelmayer M, Zöller, JE, Rothamel D. In vitro color changes of soft tissues caused by dyed fluorescent zirconia and nondyed, nonfluorescent zirconia in thin mucosa. *Int J Periodontics Restorative Dent.* 2013 Jan-Feb;33(1):e1-8.
- [125] Johnston WM. Color measurement in dentistry. *J Dent.* 2009;37 Suppl 1:e2-6.
- [126] Sailer I, Makarov NA, Thoma DS, Zwahlen M, Pjetursson BE. All-ceramic or metalceramic tooth-supported fixed dental prostheses (FDPs) A systematic review of the survival and complication rates. Part I: Single crowns (SCs). *Dent Mater.* 2015 Jun;31(6):603-23
- [127] Chu SJ, Trushkowsky RD, Paravina RD. Dental color matching instruments and systems. Review of clinical and research aspects. *J Dent.* 2010;38 Suppl 2:e2-16.
- [128] N AL, Laukner J, Burnside G, Jarad FD, Smith PW, Preston AJ. An investigation into the effect of try-in pastes, uncured and cured resin cements on the overall color of ceramic veneer restorations: an in vitro study. *J Dent.* 2010;38 Suppl 2:e78-86.

-
- [129] ten Bosch JJ, Coops JC. Tooth color and reflectance as related to light scattering and enamel hardness. *J Dent Res.* 1995 Jan;74(1):374-80.
- [130] Xing W, Jiang T, Ma X, Liang S, Wang Z, Sa Y. Evaluation of the esthetic effect of resin cements and try-in pastes on ceromer veneers. *J Dent.* 2010;38 Suppl 2:e87-94.
- [131] Ghazali AL, Laukner J, Burnside G, Jarad FD, Smith PW, Preston AJ. An investigation into the effect of try-in pastes, uncured and cured resin cements on the overall color of ceramic veneer restorations: an in vitro study. *J Dent.* 2010;38 Suppl 2:e78-86.
- [132] 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. *Zhonghua Kou Qiang Yi Xue Za Zhi.* 2015 Feb;50(2):95-8.
- [133] Lopes LG, Vaz MM, de Magalhaes AP, Cardoso PC, de Souza JB, de Torres EM. Shade evaluation of ceramic laminates according to different try-in materials. *Gen Dent.* 2014 Nov-Dec;62(6):32-5.
- [134] Conrad HJ, Seong WJ, Pesun IJ. Current ceramic materials and systems with clinical recommendations: A systematic review. *J Prosthet Dent.* 2007 Nov;98(5):389-404
- [135] Spear F, Holloway J. Which all-ceramic system is optimal for anterior esthetics? *J Am Dent Assoc.* 2008 Sep;139 Suppl:19S-24S.
- [136] Kelly JR, Benetti P. Ceramic materials in dentistry: Historical evolution and current practice. *Aust Dent J.* 2011 Jun;56 Suppl 1:84-96.
- [137] Stevenson B, Ibbetson R. The effect of the substructure on the colour of samples/restorations veneered with ceramic A literature review. *J Dent.* 2010 May;38(5):361-8.
- [138] Carossa S, Lombardo S, Pera P, Corsalini M, Rastello ML, Preti PG. Influence of posts and cores on light transmission through different all-ceramic crowns: Spectrophotometric and clinical evaluation. *Int J Prosthodont.* 2001 Jan-Feb;14(1):9-14.
- [139] Rosensteil S, Land M, Fujimoto J. *Contemporary Fixed Prosthodontics.* St. Louis Mosby, 2001
- [140] Turgut S, Bagis B. Effect of resin cement and ceramic thickness on final color of laminate veneers: an in vitro study. *J Prosthet Dent.* 2013 Mar;109(3):179-86.

-
- [141] Hobkirk JA, Wiskott HW. Ceramics in implant dentistry (Working Group 1). *Clin Oral Implants Res.* 2009 Sep;20 Suppl 4:55-7.
- [142] 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. *J Prosthet Dent.* 2002 Jul;88(1):10-5.
- [143] Azer SS, Rosenstiel SF, Seghi RR, Johnston WM. Effect of substrate shades on the color of ceramic laminate veneers. *J Prosthet Dent.* 2011 Sep;106(3):179-83.
- [144] Karaagaciloglu L, Yilmaz B. Influence of cement shade and water storage on the final color of leucite-reinforced ceramics. *Oper Dent.* 2008 Jul-Aug;33(4):386-91.
- [145] Paravina RD, Johnston WM, Powers JM. New shade guide for evaluation of tooth whitening-colorimetric study
- [146] Ge J, Wang XZ, Feng HL. Influence of different post core materials on the color of Empress 2 full ceramic crowns. *Chin Med J (Engl).* 2006 Oct 20;119(20):1715-20.
- [147] Cekic-Nagas I, Canay S, Sahin E. Bonding of resin core materials to lithium disilicate ceramics: the effect of resin cement film thickness. *Int J Prosthodont.* 2010 Sep-Oct;23(5):469-71.
- [148] Dede DO, Armaganci A, Ceylan G, Cankaya S, Celik E. Influence of abutment material and luting cements color on the final color of all ceramics. *Acta Odontol Scand.* 2013 Nov;71(6):1570-8.
- [149] Chang J, Da Silva JD, Sakai M, Kristiansen J, Ishikawa-Nagai S. The optical effect of composite luting cement on all ceramic crowns. *J Dent.* 2009 Dec;37(12):937-43.
- [150] Kilinc E, Antonson SA, Hardigan PC, Kesercioglu A. Resin cement color stability and its influence on the final shade of all-ceramics. *J Dent.* 2011 Jul;39 Suppl 1:e30-6.
- [151] Kohal RJ, Att W, Bachle M, Butz F. Ceramic abutments and ceramic oral implants. An update. *Periodontol 2000.* 2008;47:224-43.
- [152] Nakamura T, Saito O, Mizuno M, Kinuta S, Ishigaki S. Influence of abutment substrates on the colour of metal-free polymer crowns. *J Oral Rehabil.* 2003 Feb;30(2):184-8.
- [153] Prestipino V, Ingber A. Esthetic high-strength implant abutments. Part I. *J Esthet Dent. J Esthet Dent.* 1993 Jan-Feb;5(1):29-36.

Danksagung

An erster Stelle möchte ich mich bei meinem Doktorvater bedanken.

Außerdem gilt mein Dank meinem Betreuer, der stets ein offenes Ohr für meine Fragen hatte und der mich wissenschaftlich und methodisch mit fachlichen Ratschlägen und Anmerkungen tatkräftig unterstützte.

Dem Institut für Medizinische Biometrie, Epidemiologie und Informatik danke ich für die Hilfe bei der statistischen Auswertung.

Besonders möchte ich mich an dieser Stelle bei meiner Familie und Freunden bedanken, die mir immer wieder neue Motivation und Kraft gegeben haben. Vor allem möchte ich mich bei meinem Vater bedanken, der sich stundenlang für die Korrektur Zeit genommen hat.

Mein größter Dank jedoch gilt meinem Opa, der von Allen immer am meisten an mich geglaubt hat und der leider diesen so bedeutenden Schritt nicht mehr miterleben darf.