

# **Klinische Untersuchungen zu Verfärbungsneigung & Überlebensrate temporärer Kronen- und Brückenmaterialien**

Inaugural – Dissertation

zur Erlangung des Grades eines Doktors der Zahnmedizin

des Fachbereichs Medizin

der Justus-Liebig-Universität Gießen

vorgelegt von Dominic Lenhard

aus Mainz

Gießen 2012

Aus dem Medizinischen Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde

Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik

der Universitätskliniken Gießen und Marburg GmbH

Standort Gießen

Leiter: Prof. Dr. Bernd Wöstmann

Gutachter: Prof. Dr. B. Wöstmann

Gutachter: Prof. Dr. M. Rickert

Betreuer: PD Dr. M. Balkenhol bis zu seinem Weggang im Sommer 2010,  
anschließend Prof. Dr. B. Wöstmann

Tag der Disputation: 11.04.2013

*Meiner geliebten Frau Steffi und meiner Familie in tiefer Dankbarkeit*

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>EINLEITUNG</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>LITERATURÜBERSICHT</b>	<b>3</b>
2.1	Temporäre Versorgungen	3
2.1.1	Aufgaben temporärer Versorgungen	3
2.1.2	Temporäre Kronen- und Brückenmaterialien	7
2.1.3	Die radikalische Polymerisationsreaktion	8
2.1.4	Die wichtigsten Polymere	11
2.1.5	Materialeigenschaften	14
2.1.6	Methoden zur Herstellung temporärer Versorgungen	16
2.2	Farbe	17
2.2.1	Farbsysteme	18
2.2.2	Zahnfarbe	20
2.2.3	Methoden zur Farbbestimmung	21
2.2.4	Farbstabilität und Verfärbungen	25
2.3	Stabilität temporärer Versorgungen	28
2.4	Oberflächenmorphologie und Plaqueanlagerung	29
<b>3</b>	<b>ZIEL DER ARBEIT</b>	<b>31</b>
<b>4</b>	<b>MATERIAL UND METHODE</b>	<b>32</b>
4.1	Temporäre und definitive Versorgungen	32
4.2	Verwendete Materialien und Instrumente	33
4.3	Dokumentation der Daten	37
4.4	Ethische Aspekte	37
4.5	Auswertung	38
4.6	Statistische Verfahren	38

<b>5</b>	<b>ERGEBNISSE</b>	<b>39</b>
5.1	Hauptzielgröße: Farbveränderungen	39
5.2	Nebenzielgrößen	42
5.2.1	Plaqueeinlagerung	42
5.2.2	Mundverweildauer	42
5.2.3	Gründe für Neuanfertigung	44
5.2.4	Ernährungsgewohnheiten und Ausarbeitung	45
<b>6</b>	<b>DISKUSSION</b>	<b>47</b>
6.1	Kritische Betrachtung der eigenen Ergebnisse	47
6.2	Diskussion der Ergebnisse	48
6.3	Schlussfolgerungen	50
<b>7</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG</b>	<b>52</b>
7.1	Zusammenfassung	52
7.2	Summary	53
<b>8</b>	<b>LITERATURVERZEICHNIS</b>	<b>54</b>
<b>9</b>	<b>ANHANG</b>	<b>61</b>
<b>10</b>	<b>ERKLÄRUNG</b>	<b>66</b>
<b>11</b>	<b>DANKSAGUNG</b>	<b>67</b>
<b>12</b>	<b>LEBENS LAUF</b>	<b>68</b>

## 1 Einleitung

Werden im Laufe einer prothetischen Behandlung Zähne zur Aufnahme von festsitzendem Zahnersatz präpariert, ist es erforderlich, diese in der Zeitspanne zwischen der Präparation und der Eingliederung der definitiven Versorgung mit temporären Kronen und Brücken zu versorgen (94). Häufig wird jedoch der Stellenwert dieser temporären Versorgungen nicht nur seitens des Patienten, sondern auch des Zahnarztes unterschätzt, sei es, weil deren Herstellung und Eingliederung erst am Ende einer längeren Behandlungssitzung erfolgt und für diese Arbeitsschritte daher in der Regel wenig Zeit zur Verfügung steht, sei es im allgemeinen Glauben, die temporäre Versorgung müsse nur für einen kurzen Zeitraum im Patientenmund verbleiben (88). Dabei erfüllt eine gute temporäre Versorgung weit mehr als rein funktionelle und kosmetische Aufgaben; sie übernimmt nahezu alle Funktionen der späteren definitiven Versorgung (6, 13, 28, 45, 58, 94).

Besonders im sichtbaren Bereich erwartet der Patient auch bei der temporären Versorgung ein ästhetisch zufriedenstellendes Ergebnis. Im Rahmen der bestehenden Möglichkeiten wird sich der behandelnde Zahnarzt bemühen, diesem verständlichen Wunsch nachzukommen (36, 50). Das ästhetische Erscheinungsbild von Zähnen wird durch Stellung, Größe, Form, Oberflächenbeschaffenheit und im besonderen Maße von der Farbe bestimmt (18, 41). Es liegt in der Natur der Sache, dass die Patienten großen Wert darauf legen, nicht als Zahnersatzträger identifiziert zu werden; sie wünschen einen von natürlichen Zähnen nicht zu unterscheidenden Zahnersatz. Einhergehend mit der Entwicklung moderner Werkstoffe wie Keramik oder Kompositen ist auch die Erwartungshaltung der Patienten bezüglich der Ästhetik des Zahnersatzes und der temporären Versorgung gestiegen. Aufgrund schwerer Beschreibbarkeit insbesondere bezüglich der Farbbestimmung kann es jedoch mitunter schwierig werden, den individuellen Wünschen der Patienten in allen Punkten gerecht zu werden (40).

Bisher standen bei der Mehrzahl der Studien zu temporären Versorgungen hauptsächlich werkstoffkundliche Untersuchungen im Vordergrund, klinische Studien, besonders zu den Themenbereichen Farbstabilität und Überlebensrate von temporären Versorgungen gibt es nur sehr wenige. Deshalb ist es ein integrierendes Anliegen dieser Untersuchung zu dem ästhetischen Aspekt Farbe sowie zur Haltbarkeit von temporären Kronen- und Brückenmaterialien in einem klinischen Versuch eine Eingrenzung zu treffen. Zum besseren Verständnis sollen

daher zunächst Eigenschaften der temporären Versorgung, ihrer Werkstoffe und der sich daraus ergebenden Probleme aufgezeigt sowie bereits vorhandene Untersuchungen zu diesem Thema vorgestellt werden.

## 2 Literaturübersicht

### 2.1 Temporäre Versorgungen

Im Glossar der „Academy of prosthodontics“ wird die Funktion temporärer Versorgungen definiert – demnach gewährleisten diese vorrangig Schutz, Stabilität und Funktionalität bis zur Herstellung des definitiven Zahnersatzes (95). Eine gute temporäre Versorgung wirkt sich fördernd auf den gesamten Behandlungsablauf aus, trägt zur Schaffung oder zum Erhalt stabiler parodontaler Verhältnisse bei und bietet adäquaten Schutz der präparierten Zähne. Darüber hinaus gewährleistet die sorgfältig hergestellte und eingegliederte temporäre Versorgung auch die störungsfreie Kaufunktion der präparierten Zähne (88). Weitere Aufgaben der temporären Restauration dienen dem Erhalt der individuellen anatomischen Verhältnisse, aber auch der Testung der ästhetischen, funktionalen und therapeutischen Effektivität des Behandlungsplans (88). All dies trägt letztendlich zu einer besseren Akzeptanz seitens des Patienten und zu dessen Zufriedenheit und Wohlbefinden bei, was sich nicht zuletzt auch positiv auf das Vertrauensverhältnis zum Zahnarzt auswirkt (92).

Die klinische Langzeitprognose eines definitiven Zahnersatzes ist eng mit der Qualität der temporären Versorgung verknüpft, welche als richtungsweisende Komponente eines prothetischen Gesamtkonzeptes einen bedeutenden Einfluss auf das Ergebnis hat (1, 7, 13, 18, 37, 86, 94, 95). Aus diesem Grund ist die Zielsetzung temporärer Versorgungen stets in engem Kontext mit der definitiven Versorgung zu sehen. Auf diesen Aspekt haben bereits zahlreiche Autoren hingewiesen (1, 6-8, 13, 14, 18, 22, 28, 29, 33, 3, 37, 38, 42, 49, 51, 53, 54, 57, 58, 64, 72, 77, 83, 86-88, 94, 95).

#### 2.1.1 Aufgaben temporärer Versorgungen

Die temporäre Versorgung eines Zahnes erfüllt vielfältige Aufgaben. Diese sollen im Nachfolgenden kurz aufgezählt und erläutert werden:

### ***Schutz des präparierten Zahnes***

Im Zuge der Präparation von Zähnen kommt es zwangsläufig zu einem Verlust an Zahnhartsubstanz. Dentin und Pulpa der präparierten Zähne müssen während des für die Herstellung des definitiven Zahnersatzes erforderlichen Zeitraums zuverlässig vor den Einwirkungen chemischer und physikalischer Reize (Medikamenten- und Chemikalieneinwirkungen, hohe Temperaturschwankungen etc.) sowie vor dem Eindringen mikrobiell kontaminierten Speichels und daraus resultierenden Folgen geschützt werden (1, 28, 33, 77, 94). Eine mit hoher Passgenauigkeit angefertigte und eingegliederte temporäre Krone bzw. Brücke kann diesen Schutz zuverlässig gewährleisten.

### ***Positionsstabilität präparierter Zähne***

Bis zur Fertigstellung des definitiven Zahnersatzes können sich – unter den individuell unterschiedlichen Umständen – Veränderungen der Position sowohl nicht abgestützter präparierter Zähne als auch der entsprechenden Antagonisten einstellen. Dies könnte letztendlich eine Korrektur oder, im ungünstigsten Fall, eine Neuanfertigung der definitiven Restauration erforderlich machen (28, 33). Es ist daher wichtig, mit Hilfe einer passgenau hergestellten temporären Restauration solchen Veränderungen zuverlässig entgegenzuwirken.

### ***Kaufunktion und stabile interdentale Verhältnisse***

Während des Tragens einer temporären Versorgung sollte der Patient keine spürbaren Einschränkungen bezüglich des Kaukomforts hinnehmen müssen (13, 28). Um dies gewährleisten zu können, ist die Schaffung korrekter Kontaktverhältnisse zwischen der temporären Versorgung und den Nachbarzähnen. Ein zu eng gewählter Abstand zwischen der temporären Restauration und dem Nachbarzahn könnte Quetschungen der Gingiva und eventuell dadurch bedingte Entzündungsprozesse zur Folge haben. Bei einer zu weit gestalteten Distanz zwischen der temporären Versorgung und den bestehenden Nachbarzähnen ergibt sich andererseits die Gefahr des Einklemmens von Speiseresten, was die Anlagerung von Plaques begünstigt, wodurch ebenfalls entzündliche Reaktionen in der Gingiva ausgelöst werden können (22, 86).

### ***Hygienefähigkeit***

Die Form einer temporären Krone sollte der natürlichen Zahnform nachempfunden sein und eine regelrechte Anwendung von Mundhygienemaßnahmen ermöglichen (z.B. mit Zahnseide und / oder Interdentalbürsten).

Die Formgebung der temporären Krone richtet sich dabei nach der Form des natürlichen Zahns. Als notwendige Voraussetzung für den Erhalt einer gesunden Gingiva werden in der Regel leicht konvexe bukkale und linguale Konturen und flache Konturen der künstlichen Krone empfohlen (83, 86); eine solche Formgestaltung trägt auch zur guten Reinigungsfähigkeit des Zahnersatzes bei.

### ***Atraumatische Ränder***

Eine selbstverständliche Anforderung an die Herstellung einer passgenauen temporären Versorgung ist, dass die gingivalen Ränder der Restauration nicht das Zahnfleisch traumatisieren. Ungenaue Konturen vorgefertigter Metallhülsen, unsachgemäß in Form gebrachte temporäre Kronen, überstehende und/oder scharfkantige Ränder können mechanische Irritationen und Reizungen der Gingiva auslösen (35, 48, 86). Auf mechanische Reizungen zurückzuführende Blutungen können auch Schwierigkeiten beim Einzementieren der definitiven Restauration verursachen (22, 37, 77, 82, 86).

Bei durch die Restauration traumatisiertem Zahnfleisch sind daher eine zügige Beseitigung des Auslösers des Traumas sowie eine rechtzeitige gezielte Behandlung erforderlich, um die Entwicklung von Hypertrophie, Gewebeproliferation und Rezessionen zu verhindern.

Eine unzureichende Länge der temporären Versorgung reizt das Zahnfleisch nicht, doch auch diese Situation geht mit der Gefahr diverser Problem einher: Bei zu kurzer Restauration kann die Versiegelung unzureichend sein, wodurch der erforderliche Schutz der präparierten Zähne nicht zuverlässig gewährleistet werden kann (29, 38).

### ***Haltbarkeit und Retention***

Bezüglich der Tragedauer kann zwischen Kurzzeit- (Interimsversorgungen) und Langzeitprovisorien unterschieden werden. In der Literatur findet sich hierzu kein exakt definierter Zeitraum, die Angaben zur Tragedauer schwanken in der Regel zwischen zwei und vier Wochen

(13, 25). Folglich können temporäre Versorgungen, deren Tragedauer vier Wochen überschreitet, als Langzeitprovisorien bezeichnet werden (13, 58, 71).

Von großer Bedeutung ist, dass die temporäre Versorgung während der gesamten vorgesehenen Tragedauer den Belastungen, denen sie ausgesetzt wird, ohne Lockerungen oder Brüche widerstehen kann. Bei zu erwartender Mehrbelastung (etwa durch nächtliches Zähneknirschen) stellt eine metallische Verstärkung der Restauration eine gute Lösung dar (siehe Kapitel Nr. 3.3).

Die temporäre Restauration sollte auch beim Abnehmen intakt bleiben, um eine sich eventuell als notwendig erweisende Wieder- bzw. Weiterverwendung derselben zu ermöglichen. Die Notwendigkeit der Herstellung einer weiteren temporären Versorgung wäre in einer solchen Situation nicht nur kosten- und zeitaufwändig; sie könnte auch das Vertrauensverhältnis zwischen Patient und Zahnarzt belasten (28, 31, 32, 42, 52).

### ***Ästhetisches Erscheinungsbild***

Insbesondere im Bereich der Front- und Eckzähne sowie der oberen Prämolaren ist das ästhetische Erscheinungsbild der temporären Versorgung von entscheidender Bedeutung (36); sie sollte in Form und Farbe der definitiven Restauration möglichst ähnlich sein (28). Sind Korrekturen von Farbe, Form oder Zahnstellung vorgesehen, kann eine temporäre Versorgung hilfreich sein, um die geplanten Änderungen noch vor Anfertigung der definitiven Restauration testen zu können (2, 18, 28, 86).

Im Interesse der Zufriedenheit des Patienten spielt auch die Farbstabilität des verwendeten temporären Kronen- und Brückenmaterials einen nicht zu unterschätzenden Faktor, da temporäre Restaurationen nicht selten für längere Zeit in situ bleiben (24, 41, 63).

### ***Kontinuierliche Evaluation während der Behandlung***

Langzeitprovisorien werden nicht selten bei Patienten angewendet, bei denen präprothetisch parodontaltherapeutische Maßnahmen geplant sind. Der Zeitraum bis zur endgültigen Beurteilung der Prognose einzelner behandelter Zähne kann mit einer Langzeitrestauration zuverlässig überbrückt werden, darüber hinaus werden endodontisch behandelte Zähne auf diese Weise für den Zeitraum zwischen den Einzelsitzungen wirksam geschützt (1, 6, 13, 28, 35, 57, 75).

### ***Weitere Ziele temporärer Versorgungen***

Eine wichtige Rolle spielen temporäre Versorgungen auch in der Phonetik, bei der Lautbildung (1, 86).

Ebenso kommen temporäre Restaurationen auch in der Implantatprothetik zum Einsatz, wo sie Schutz des präparierten Abutments, Ersatz fehlender Zähne sowie Vorbeugung der Migration von Abutments bieten. Darüber hinaus kann eine temporäre Versorgung auch Hinweise auf die Parallelität von Abutments liefern (82).

Eine weitere Indikation für die Anwendung temporärer Restaurationen ist im Rahmen der palliativen Versorgung von Tumorpatienten gegeben (35).

### **2.1.2 Temporäre Kronen- und Brückenmaterialien**

Dem Zahnarzt steht heute eine Vielzahl unterschiedlicher Werkstoffe zur Herstellung temporärer Kronen und Brücken zur Verfügung (7, 18, 25, 28, 36-38, 52, 72, 77). Doch auch angesichts der großen Auswahl ist die Entscheidung für einen konkreten Werkstoff nicht immer einfach, denn es gilt, eine ganze Reihe von Eigenschaften des Materials zu berücksichtigen, die für die Qualität der temporären Versorgung, aber auch bezüglich der individuellen Wünsche und Vorstellungen und Wünsche des Patienten entscheidend sein können.

Unter den in jedem Fall erforderlichen Eigenschaften des anzuwendenden Werkstoffs ist an erster Stelle die Biokompatibilität zu nennen; darüber hinaus darf das Material nicht allergen sein. Weitere unverzichtbare Voraussetzungen für die Herstellung einer zufriedenstellenden Restauration sind Abriebfestigkeit und eine hohe mechanische Stabilität. Ebenso wichtig ist die ausreichende chemische Beständigkeit sowie die für den vorgesehenen Zweck geeignete und erforderliche Farbe bzw. Farbtreue.

Zu den weiteren Anforderungen an einen zufrieden stellenden Zahnwerkstoff zählen eine möglichst geringe Porosität und eine leichte Bearbeitungsfähigkeit. Darüber hinaus darf das Material während der Anwendungsprozeduren (etwa während der Polymerisation) keine zu hohen Temperaturen entwickeln und sollte bei der Aushärtung nur minimal schrumpfen. Zu den weiteren Anforderungen an zahntechnische Materialien zählt eine kurze Aushärtezeit, neutraler Geschmack und Geruch sowie eine gute Hygiene- und Reparaturfähigkeit.

Angesichts dieser vielfältigen Anforderungen ist es kaum verwunderlich, dass trotz der Vielzahl verfügbarer unterschiedlicher Materialien zur Herstellung temporärer Kronen und Brü-

cken auch heute noch kein auf dem Markt befindliches Material sämtlichen aufgezählten Anforderungen restlos entspricht (87, 97).

Zur Herstellung temporärer Versorgungen werden Materialien auf der Basis von Methylmethacrylat (Methacrylsäure-Methylester) und dessen Polymeren (Polymethylmethacrylat, PMMA; auch als Polymethacrylsäure-Methylester bezeichnet) angewendet. Dieser Werkstoff wurde Mitte der 30er Jahre des vergangenen Jahrhunderts von Otto Röhm erstmals hergestellt (36). Die Einführung des PMMA zur Herstellung temporärer Restaurationen hat erheblich zum Durchbruch bei der Herstellung nicht nur funktioneller, aber auch ästhetisch hochwertiger Restaurationen beigetragen. Heute werden im Bereich der Zahntechnik fast ausschließlich Polymere angewendet, den größten Anteil bilden dabei Polymethylmethacrylate und Polysiloxane (36). Sämtliche Polymere entstehen durch eine chemische Reaktion, die radikalische Polymerisation.

### **2.1.3 Die radikalische Polymerisationsreaktion**

Der Begriff wird für die Reaktion zwischen ungesättigten Verbindungen kleinerer Moleküle (Monomere) verwendet, bei der unterschiedlich lange faden- oder netzartige große Moleküle (Makromoleküle) gebildet werden. Die Eigenschaften der zur Polymerisation angewendeten Monomere sind dabei entscheidend für die Art der Verknüpfung, welche wiederum maßgeblich für die Eigenschaften des entstehenden Endprodukts, des Polymers, ist (36).

#### ***Start der Reaktion***

Der Prozess der Kettenbildung wird durch Einwirkung eines Initiators eingeleitet. Als Initiatoren eignen sich Moleküle bzw. chemische Verbindungen, welche ein oder mehrere ungepaarte Elektronen besitzen und infolgedessen besonders reaktionsfreudig sind. Diese Verbindungen bilden nach Zuführung von Energie Radikale. Die so entstandenen Radikale reagieren mit den ungesättigten Bindungsstellen der Monomere, wodurch sich weitere Radikale bilden und die Kettenreaktion gestartet wird. Die auf dieser Reaktion basierende Verkettung bzw. Vernetzung mehrerer Monomere zu einem Polymer wird als radikalische Polymerisation bezeichnet (22, 28, 95).

Abhängig von der Art der zugeführten Energie werden lichthärtende zahntechnische Werkstoffe (Start der Polymerisation durch Zuführung von Licht) oder Heißpolymerisate (Start der

Polymerisation durch Zuführung von Energie in Form von Wärme) unterschieden. Auch die Kombination beider genannten Vorgänge ist möglich; in diesem Fall wird von dualhärtenden Werkstoffen gesprochen.

Bei lighthärtenden Kunststoffen wird dem Material Campherchinon beigefügt, welches bei Einwirkung von Licht der Wellenlänge 468 – 470 nm Radikale bildet (36). Es besitzt eine gelbe Eigenfarbe, welche mit steigendem Polymerisationsgrad umgesetzt wird. Somit ergibt sich eine Verfärbungstendenz des Materials bei nicht vollständiger Umsetzung des Campherchinons in Richtung Gelb (65, 71).

Am häufigsten wird die Polymerisation jedoch durch einen chemischen Prozess eingeleitet (Autopolymerisation). Bei den methacrylatbasierten Werkstoffen wird hierzu am häufigsten Benzoylperoxid (BPO) angewendet, doch können stattdessen auch Barbitursäure oder Kupferionen eingesetzt werden (36).

### ***Wachstum der Ketten***

Die nach der Initiierung der Polymerisationsreaktion neu entstandenen Radikale attackieren ihrerseits die ungesättigten Bindungsstellen weiterer Monomere, verbinden sich mit ihnen und bewirken, dass sich einerseits die Monomerkette verlängert und andererseits auf diese Weise immer weitere Radikale entstehen. So wächst die – nun aus vielen Monomeren zusammengesetzte – Polymerkette weiter an.

Die Ketten des entstandenen Polymers bilden durch kovalente Bindungen eine feste Struktur, wobei die intermolekularen Kräfte mit zunehmender Kettenlänge zunehmen.

Während des Prozesses der Polymerisation kommt es zur Kontraktion des Materialvolumens, da sich im Laufe der Reaktion der Abstand der Moleküle voneinander verringert (36).

Da die Polymerisation eine exotherm verlaufende Reaktion ist, tritt es während des Prozesses eine zum Teil erhebliche Erwärmung des Werkstoffs ein. Auch dieser Umstand ist von klinischer Bedeutung, da die Erwärmung mit der Gefahr einer Reizung oder Schädigung der Pulpa bzw. umgebender Gewebe einhergehen kann (13, 95, 97).

### ***Abbruch der Reaktion***

Der Abbruch einer Polymerisationsreaktion kann auf unterschiedliche Weise herbeigeführt werden. Zum einen wird der Prozess unter- bzw. abgebrochen, wenn zwei Radikale – anstatt die ungesättigten Verbindungen weiterer Monomere anzugreifen – miteinander reagieren. Dieser Zustand wird als Rekombination bezeichnet (36).

Die Polymerisationsreaktion kann auch unterbrochen werden, wenn der überwiegende Teil der Monomere aufgebraucht ist und für die Verknüpfung der restlichen geringen Mengen an Monomeren keine ausreichende Energie mehr vorhanden ist. Diese Monomere bleiben dann – mitsamt ihren erhaltenen ungesättigten Bindungen – unverändert als Restmonomere im Material zurück, wobei der Restmonomergehalt zwischen 0,5 und 4% liegt (36). Mit steigender Anzahl umgesetzter Monomere erhöht sich der Polymerisationsgrad und damit geht eine Verbesserung der chemischen und physikalischen Eigenschaften des Materials einher. Ein hoher Polymerisationsgrad, zum einen durch Präzision und Richtigkeit des Mischungsverhältnisses erreicht, zum anderen durch das Initiatorsystem und die Reaktionsbedingungen (z.B. Temperatur) beeinflusst. Eine zu hohe Konzentration nicht umgesetzter Monomere kann aus klinischer Sicht Probleme verursachen. So kann durch einen erhöhten Anteil von Restmonomeren mechanische Parameter wie E-Modul und Biegefestigkeit abfallen, da Restmonomere als Weichmacher gelten. Außerdem ist ein erhöhter Restmonomeranteil biologisch relevant, da bei Patienten mit entsprechender Disposition allergische Reaktionen auftreten können (36).

Die Polymerisationsreaktion, d. h. das Kettenwachstum, kann aber auch gezielt durch Zufuhr eines geeigneten Inhibitors unterbrochen werden. Zu diesem Zweck eignen sich Verbindungen, die umgangssprachlich als „Radikalfänger“ bezeichnet werden. Diese gehen mit im Reaktionsgemisch vorhandenen Radikalen stabile chemische Verbindungen ein und beenden damit die Polymerisation. Zu solchen Inhibitoren zählen beispielsweise Hydrochinon und Hydrochinonmonomethylether. Darüber hinaus eignet sich auch Luftsauerstoff zur Inhibition einer radikalischen Polymerisation (36).

In Abbildung 2.1 wird das Schema der Polymerisationsreaktion veranschaulicht: Im ersten Schritt bilden sich, unter Beigabe eines Initiators und Energiezufuhr, Radikale. Im zweiten Schritt gehen die Radikale mit den vorhandenen Monomeren Verbindungen ein, welche dadurch selbst zu Radikalen werden. Im dritten Schritt verbinden sich die „radikalisierten“ Monomere zu Ketten unterschiedlicher Länge.

## 1. Radikalbildung



## 2. Kettenstart



## 3. Kettenwachstum



## 4. Kettenabbruch

## a) Rekombination



## b) Inhibierung



Abb. 2.1: Schema der Polymerisationsreaktion (übernommen aus Quelle (36)).

## 2.1.4 Die wichtigsten Polymere

Die zur Herstellung temporärer Versorgungen geeigneten Polymere können – grob betrachtet – in zwei Materialgruppen geteilt werden. Zum einen sind hier die klassischen Pulver-/Flüssigkeitssysteme auf der Basis von Mono-Methacrylaten zu nennen, zum anderen die zahntechnischen Werkstoffe auf Komposite-Basis (60). Im Folgenden sollen diese beiden Werkstoffgruppen näher betrachtet werden.

### ***Monomethacrylat-basierte Werkstoffe***

Die Bezeichnung der monomethacrylatbasierten Werkstoffe leitet sich von der charakteristischen Eigenschaft der Monomere ab – der vorhandenen Methacrylatgruppe  $\text{CH}_2\text{-CH-COO-R}$  (60), wobei ein Monomer eine oder mehrere solche Methacrylatgruppen besitzen kann. Monomere mit nur einer Methacrylatgruppe werden als monofunktionelle Monomere, kurz auch als MMA, bezeichnet; sie bilden die Basis der klassischen Pulver/Flüssigkeitssysteme. Bei der Polymerisation monofunktionaler Polymere kann das Wachstum der Polymerkette stets nur an einer Seite des Moleküls (an jener, an der sich die Methacrylatgruppe befindet) stattfinden. Aus diesem Grund können monofunktionelle Methacrylate nur unverzweigte Ketten, die Fadenmoleküle, bilden (43).

Bei monomermethacrylatbasierten Werkstoffen, deren Monomere jeweils zwei oder Methacrylatgruppen besitzen (bifunktionelle bzw. trifunktionelle Monomere), entstehen dagegen im Verlauf der Polymerisationsreaktion Ketten gleichzeitig in zwei bzw. drei Richtungen. Dadurch kommt es zu Quervernetzungen der Ketten und zur Bildung von Netzen. Aus diesem Grund werden diese Werkstoffe auch als „Vernetzter“ bezeichnet.

Die unterschiedlichen Eigenschaften der Monomere wirken sich daher letztendlich auf die physikalischen Eigenschaften des entstandenen Polymers aus (43).

### ***Komposit- oder Verbundwerkstoffe***

In den letzten Jahren haben Stoffe dieser Klasse bei der Herstellung temporärer Versorgungen an Bedeutung und Beliebtheit hinzugewonnen (8, 95, 97); so lag in den USA der Marktanteil der Verbundwerkstoffe in diesem Bereich im Jahre 2001 bereits über 50% (13). Im Vergleich zu den Werkstoffen auf Monomethacrylatbasis überwiegen die Vorteile der Kompositwerkstoffe deutlich. Diese Komposite bestehen aus einer Monomermatrix mit darin verankerten anorganischen Füllstoffen (49). In der Regel kommen hierbei bi- oder höherfunktionelle Methacrylate zum Einsatz. Dies hat einerseits zur Folge, dass – zusätzlich zum Kettenwachstum an gleichzeitig zwei oder mehr Stellen – auch die Polymerisationschumpfung geringer ausfällt, da das Molekulargewicht der Ausgangsmomere höher ist. Die Vernetzung der getrennt wachsenden Ketten gestattet die Ausbildung dreidimensionaler Polymere, welche eine höhere mechanischer Stabilität aufweisen (43, 72). Dieser Aspekt wird jedoch nicht von allen Autoren so gesehen: Es wurde auch berichtet, dass die Seitenketten sich mit zunehmender Länge gegenseitig in ihren Wechselwirkungen behindern können, was

zu einer Verringerung des Zusammenhalts des Makromoleküls beitragen und die mechanische Festigkeit des Polymers beeinträchtigen kann (55, 64).

Bei der Herstellung der Matrix für die Verbundwerkstoffe kommen die Monomere Bisphenol-A-Glyzidyl-Methacrylat (Bis-GMA), Triethylen-Glykol Dimethacrylat (TEGDMA) und Urethan-Dimethacrylat (UDMA) – in der Regel in unterschiedlichen Kombinationen – zum Einsatz. So kann beispielsweise Bis-GMA wegen der hohen Viskosität nur unter Zusatz von Verdünnermonomeren (Comonomeren, z.B. TEGDMA) angewendet werden (67).

Für die mechanischen, aber insbesondere auch für die ästhetischen Eigenschaften der Kompositwerkstoffe sind die jeweils verwendeten anorganischen Füllstoffe in hohem Maß mitverantwortlich. Zum Einsatz kommen insbesondere  $\text{SiO}_2$ , Quarz oder Glasfüllkörper in Größenordnungen von 40% bis 47 Vol. % (43, 59).

Insbesondere folgende Eigenschaften der Kompositwerkstoffe werden maßgeblich von den Füllstoffen beeinflusst (43):

- Abrasionsfestigkeit,
- Beständigkeit ,
- Farbe,
- Festigkeit,
- Konsistenz,
- Oberflächenqualität,
- Polierbarkeit,
- Röntgenopazität,
- Schrumpfungsvolumen während der Aushärtung,
- Thermische Ausdehnung,
- Transparenz,
- Verarbeitungseigenschaften und
- Wasseraufnahme und -löslichkeit (43).

Um einen stabilen Verbundwerkstoff (Kompositwerkstoff) herstellen zu können, müssen zwischen der Monomermatrix und den Füllstoffen Wechselwirkungen herbeigeführt werden, die eine feste Verbindung beider Phasen gewährleisten. Dies ist nicht einfach, da die anorganischen Füllstoffe eine hydrophile Oberfläche besitzen, die mit der Monomer-Matrix keine Wechselwirkungen eingehen kann. Um dies dennoch zu erreichen, ist eine Behandlung der

Oberfläche des anorganischen Füllstoffs erforderlich. Dies kann einerseits mechanisch durch Aufrauen des Füllstoffs geschehen, wird jedoch meist auf chemischem Wege durch eine spezielle Oberflächenbehandlung erreicht. Bei diesem als Silanisierung bezeichneten Prozess werden Silane eingesetzt. Es handelt sich hierbei um Verbindungen, welche sowohl einen organischen als auch einen anorganischen Teil besitzen (43). Diese „Zwittermoleküle“ vermitteln eine feste Verbindung zwischen der stark hydrophoben Monomermatrix und den hydrophilen Füllstoffen. Neben dem Verbund von hydrophilen mit hydrophoben Oberflächen kann durch die Silanisierung auch eine deutliche Steigerung der Biege- und Druckfestigkeit sowie der Vickershärte HV10 des Verbundmaterials erreicht werden (43).

Der Mechanismus der Polymerisierung verläuft bei den beiden unterschiedlichen Werkstoffgruppen – sowohl den Mono-Methacrylaten und als auch bei den Verbundwerkstoffen – auf weitestgehend identische Weise: Sie kann auf chemischem Weg (selbsthärtend), durch Lichthärtung oder durch eine Kombination beider Prozesse (dualhärtend) erfolgen.

### **2.1.5 Materialeigenschaften**

#### ***Monomethacrylate***

Die Anwendung reines Methylmethacrylats geht mit einer deutlichen Polymerisationsschrumpfung einher; in der Literatur wird von 21 Volumenprozent berichtet (13, 43).

Eine Schrumpfung des Materials in dieser Größenordnung ist von nicht unerheblicher klinischer Relevanz: Der hohe Schrumpfungsgrad hat eine zu geringe innere Oberfläche der temporären Versorgung zur Folge. Da hierdurch eine optimale Positionierung der temporären Versorgung nicht möglich ist, können sich im Endeffekt vergrößerte Randspalten und Supraktontakte ergeben. Die übermäßige okklusale Belastung kann eine unverhältnismäßig hohe Dehnung der dünn ausfließenden Bereiche des temporären Kronen- und Brückenmaterials insbesondere an den Randspalten bewirken, was zu einer Überschreitung der elastischen Grenze und infolge dessen zu Materialrissen führen kann (22). In vielen Fällen werden infolge der Polymerisationsschrumpfung Nachbearbeitungen der temporären Versorgungen erforderlich, um eine gute Passung und eine akzeptable Okklusion herzustellen.

Zu den Nachteilen der Monomethacrylat-basierten Werkstoffe zählen geringe mechanische Belastbarkeit sowie, dass die Akzeptanz dieser Werkstoffgruppe seitens der Patienten nicht

sehr hoch ist. So werden auch ein unangenehmer Geruch bzw. Geschmack des Materials beklagt (54). Im Material verbliebene Restmonomere können ebenfalls Probleme bereiten, wenn sie sich lösen und toxische oder allergische Reaktionen auslösen.

Im Vergleich zu den Verbundwerkstoffen (Kompositen) haben die Monomethacrylatbasierten Werkstoffe dennoch zweifelsohne auch ihre Vorteile. So wird die Farbgebung der Monomethacrylate positiv beurteilt (15), wenngleich das Material wegen der größeren Porosität für Verfärbungen anfälliger ist (55, 72, 88). Einen weiteren Vorteil stellt das gute ästhetische Erscheinungsbild der aus diesen Werkstoffen angefertigten Restaurationen dar, da Monomethacrylate gut hochglanzpolierbar sind. Auch die überlegene Reparaturfähigkeit der Monomethacrylate und, nicht zuletzt, die geringeren Kosten zählen zu den eindeutigen Vorteilen dieses Materials (15, 88).

### ***Kompositwerkstoffe***

Materialien dieser Gruppe weisen aufgrund ihrer chemischen Struktur eine höhere mechanische Stabilität und Härte auf (58) und zeichnen sich darüber hinaus durch eine hohe Biokompatibilität aus (13). Zudem sind Kontraktion und Temperaturanstieg innerhalb des Materials während der Polymerisation im Vergleich zu Monomethacrylaten eher gering (8, 13, 72). Gegenüber den monomethacrylatbasierten Werkstoffen zeigen sich die Verbundwerkstoffe in Bezug auf Kontur und Randschluss überlegen (72, 97). Einen weiteren Vorteil stellt der Umstand dar, dass nach der Polymerisation keine Restmonomere im Material verbleiben; Irritationen von Pulpa oder Weichgewebe werden bei Restaurationen aus Verbundwerkstoffen insgesamt seltener beobachtet (55). Ein weiterer Vorteil der Komposite-Werkstoffe liegt darin, dass sowohl der zeitliche als auch der technische Aufwand für die Herstellung der aus diesem Material gefertigten temporären Versorgungen geringer ist im Vergleich zu monomethacrylatbasierten Werkstoffen (72). Auch die Belastbarkeit aus Kompositwerkstoffen gefertigter Brücken im Experiment (Kausimulator) ist im Vergleich zu den aus Monomethacrylat hergestellten Restaurationen höher (54).

Zu den Nachteilen der Verbundwerkstoffe zählt insbesondere der eingeschränkte Einsatzbereich dieser Materialien. So sind Komposite für langspannige Restaurationen (beispielsweise Freidendbrücken, die einen fehlenden endständigen Zahn ersetzen sollen) weniger gut geeignet (7, 29). Auch sind Kompositwerkstoffe aufgrund der beigefügten anorganischen Füllstoffe nicht so gut hochglanzpolierbar wie Methylmethacrylate (15). Aus dem gleichen Grund

ist auch die Reparaturfähigkeit dieser Materialien deutlich schlechter im Vergleich zu monomethacrylatbasierten Werkstoffen (88). Auf der Negativliste steht schließlich auch die Kostenfrage: Komposite-Werkstoffe sind teurer als monomethacrylatbasierte Materialien (13, 58).

### **2.1.6 Methoden zur Herstellung temporärer Versorgungen**

Die Herstellung temporärer Versorgungen kann auf direkte Weise (im Patientenmund) oder indirekt (im Labor) vorgenommen werden. Eine weitere Möglichkeit stellt ein kombiniertes Verfahren dar, wobei im Labor eine Außenschale angefertigt wird, welche anschließend im Patientenmund angepasst wird (7, 13, 14, 22, 28, 83, 86). Aufgrund der untergeordneten klinischen Bedeutung soll auf die indirekte Methode an dieser Stelle nicht weiter eingegangen werden.

Im direkten Verfahren sind bei der Herstellung der temporären Restauration die folgenden Methoden möglich:

- Anfertigung der temporären Versorgung mittels einer Formhilfe
- Anwendung vorgefertigter Kronen und Hülsen
- Nutzung bestehenden Zahnersatzes

#### ***Herstellung der temporären Versorgung mittels einer Formhilfe***

Bei der Herstellung der temporären Versorgung können als Formhilfe eine Versorgungsabformung oder eine Tiefziehschiene angewendet werden. Bei der Versorgungsabformung wird zunächst der noch unbeschliffene Zahn abgeformt.

Soll die temporäre Versorgung mittels einer Tiefziehschiene angefertigt werden, ist diese zunächst auf einem Gipsmodell der unpräparierten Zähne herzustellen. In der Regel wird die Tiefziehschiene aus einem durchsichtigen Polymer hergestellt. Wichtig ist, dass die axiale Position des Zahnes und der Gingiva sowie die okklusalen und interdentalen Platzverhältnisse exakt dargestellt werden. (14, 72, 77).

Nach abgeschlossener Präparation der Zähne werden die Versorgungsabformung bzw. die Tiefziehschiene, in deren Lumen das temporäre Kronen- bzw. Brückenmaterial gefüllt wurde, repositioniert und härten intraoral auf dem Zahnstumpf aus. Nach kurzer Verweildauer wird

die Formhilfe entfernt, das erhärtete Kronen- und Brückenmaterial aus der Form genommen und mit rotierenden Instrumenten ausgearbeitet. Nach der Politur kann die temporäre Versorgung auf dem präparierten Zahn mit temporärem Zement befestigt werden (13, 14).

### ***Anwendung vorgefertigter Hülsen und Kronen***

Einzelne Zähne können auch unter Anwendung konfektionierter Kronen versorgt werden (7, 13, 72). Als Beispiele hierfür sind Aluminiumhülsen, anatomische Metallkronen, durchsichtige Zelluloidhülsen oder zahnfarbene Polykarbonatkronen zu nennen (77). Der Vorteil einer solchen Versorgung liegt in der schnellen Verfügbarkeit, zum Beispiel im Notfall (72). Nachteilig wirken sich allerdings der oft unzureichende Randschluss, mangelhafte okklusale und proximale Verhältnisse und die Problematik der oft ungenügenden Retention aus (13, 72).

### ***Nutzung des bestehenden Zahnersatzes***

In Einzelfällen kann – nach entsprechender Adaptation – bis zur Eingliederung der definitiven Restauration auch die zu erneuernde Krone bzw. Brücke als temporäre Versorgung weiter verwendet werden, was der Erhaltung der okklusalen und proximalen Verhältnisse dient (91). Voraussetzung für die Verwendung des bestehenden Zahnersatzes ist jedoch, dass die durch Substanzabtrag bedingten Differenzen nach Abschluss der Präparation nicht allzu groß sind; ein nicht optimaler Haftverbund zwischen dem alten Zahnersatz und dem präparierten Stumpf könnte sich nachteilig auswirken (28). Die Nutzung einer vorhandenen Prothese bietet jedoch auch Vorteile: die Stabilität ist erhöht, die ästhetische Situation wird beibehalten und die Verblendung – sofern vorhanden – ist abriebfest. Das Verfahren ist darüber hinaus zeitsparend. Allerdings können sich Nachteile aus nicht kalkulierbaren Risiken ergeben, die beim Entfernen der Konstruktion durch erhöhten Kraftaufwand entstehen können. Hierbei steigt die Bruchgefahr für die Zahnstümpfe an (91).

## **2.2 Farbe**

Farbe ist keine unveränderliche und physikalisch eindeutig definierte Größe, sondern vielmehr ein Sinneseindruck (3), der durch die Lichtreflexion eines Objekts ausgelöst und im Gehirn in eine Farbempfindung umgesetzt wird (2, 4). Im wissenschaftlichen Sinn spricht

man von Farbe als „eine von Licht bestimmter spektraler Beschaffenheit ausgelöste und durch das Auge vermittelte Sinnesempfindung (Farbempfindung)“ (6).

### 2.2.1 Farbsysteme

Im Jahr 1915 stellte der amerikanische Maler *Munsell* seinen „Color Tree“ (Abb. 2.2) vor. Die Parameter dieses Farbbaumes bezeichnete er mit "Hue" (Farbton), "Value" (Helligkeit) und "Chroma" (Sättigung). Die Basis des „Color Tree“ bildet ein Farbkreis, der aus Tafeln mit Farbmustern besteht, die nach Farbton und Sättigung qualitativ zusammengestellt sind. Die zum Farbkreis senkrecht stehende Helligkeitsskala wird in zehn Stufen mit gleichmäßigen Abständen zwischen Schwarz und Weiß unterteilt (60, 61). Durch diese Anordnung ist es möglich, jede vorkommende Farbe in diesem dreidimensionalen System darzustellen (39). Das von *Munsell* vorgestellte System ist noch heute das weltweit meist benutzte Referenzsystem (37).

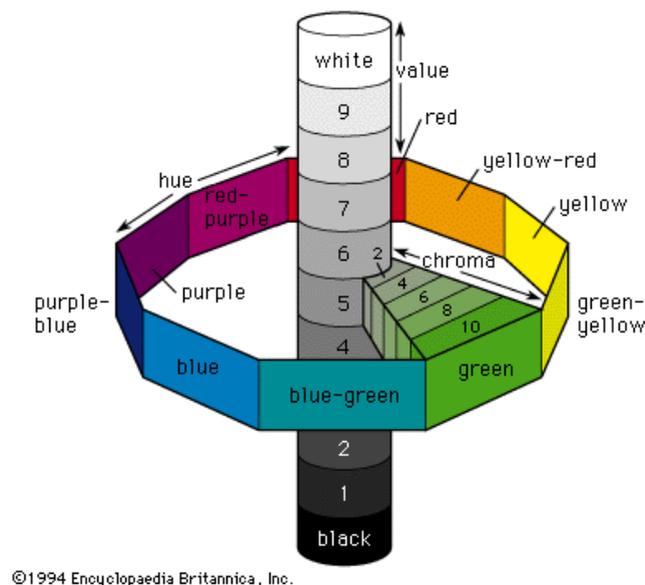


Abb. 2.2: Farbsystem nach *Munsell* (Encyclopaedia Britannica 1994)

In den dreißiger Jahren des vergangenen Jahrhunderts wurden Versuche unternommen, von den farbmusterbestimmten Modellen abzukommen, um eine objektive Farbmessung vornehmen zu können. Im Jahr 1931 legte die „*Commission Internationale de l'Eclairage, Internationale Beleuchtungskommision*“ (CIE) ihre Normfarbtafel vor. Zu deren Erstellung mussten Beobachter bestimmte Farben definierter Wellenlängen additiv aus den Elementarfarben Rot,

Grün und Blau mischen (37). Durch diese Vergleichsmethode erhielt man drei Werte, die als X, Y und Z bezeichnet wurden. Diese Parameter wurden mathematisch so umformuliert, dass die Summe der Farbgewichte Eins ergab. Dadurch wird eine zweidimensionale Darstellung der Farbe möglich und die Information über die Parameter X und Y reicht aus, um den dritten abhängigen Wert Z zu ermitteln (37, 39).

Eine Weiterentwicklung der CIE-Normfarbtafel stellt das CIELAB-System (Abb. 2.3) dar.

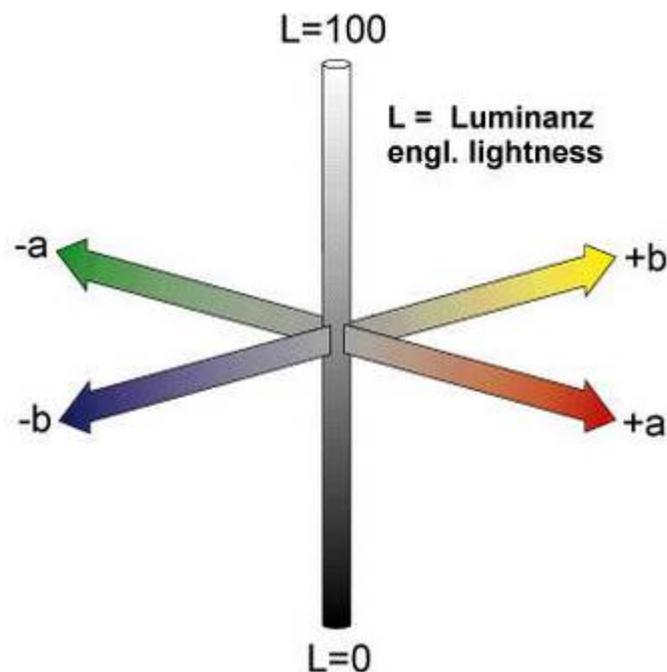


Abb. 2.3: CIELAB-System (Encyclopaedia Britannica 1994)

Dieses wurde 1976 von der CIE entworfen. Das Farbsystem besteht aus einem Farbraum, der ähnlich wie der *Munsell*-Farbraum aufgebaut ist und die Bestimmung von Farbunterschieden anhand von Abstandsmessungen gestattet. Die neuen Farbwerte „L“, „a“ und „b“ wurden aus den bekannten X-, Y- und Z-Werten des CIE-Systems gewonnen.

Die vertikale Achse repräsentiert die L-Werte („L“ steht für „lightness“ oder auch „Luminanz“), wobei oben „Weiß“ = 100% Helligkeit und unten „Schwarz“ = 0% Helligkeit entspricht. Ferner beschreiben „a“ und „b“ die chromatische Komponente der wahrgenommenen Farbe (3, 59). Das CIELAB-System basiert nicht allein auf den drei Primärfarben Rot, Grün und Blau, sondern bedient sich der Sekundärfarbe Gelb als weiterer Farbe. Die jeweilige

Ebene der Farben steht im rechten Winkel zur Helligkeitsachse. Auf der a-Achse entsprechen positive a-Werte dem Farbton Rot, während negative a-Werte der Komplementärfarbe Grün entsprechen. Auf der b-Achse ist die Einteilung entsprechend den Farben Gelb und Blau, hier stehen positive b-Werte für Gelb, wohingegen negative b-Werte die entsprechende Komplementärfarbe Blau repräsentieren (3, 59). Farbabstände werden im CIELAB-System durch folgende Formel beschrieben, die die absolute Farbdifferenz  $\Delta E$  zweier Farbtöne numerisch widerspiegelt (3, 60):

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

### 2.2.2 Zahnfarbe

Die wahrgenommene Zahnfarbe entsteht durch Reflexion und Streuung (20). Betrachtet man einen Zahn, insbesondere den Schmelz, gibt es drei Möglichkeiten der Ausbreitung von Photonen („Lichtteilchen“) nach dem Auftreffen auf die Zahnoberfläche und der anschließenden Zerstreuung:

1. Durchleitung und Austritt („Durchscheineffekt“),
2. Reflexion (Austritt an anderer Stelle, diffuse Streuung),
3. Absorption.

Eine zugleich stattfindende zur Seite gerichtete Ablenkung von Photonen führt zu Verlusten bei optischen Messungen. Diese Verluste haben zur Folge, dass die Menge reflektierten Lichtes reduziert wird (8). Im Vergleich zur natürlichen Zahnoberfläche erscheinen künstlich gefertigte Materialien, zum Beispiel Keramiken mit gleicher Schichtstärke, opak, da hier eine Totalreflexion entsteht, die einen durchleuchtenden Effekt nicht zulässt.

Die Anregung der Sinneszellen auf der Netzhaut und die Interpretation durch das Gehirn sind von der Beleuchtungsstärke abhängig. Die entsprechende SI-Einheit ist das Lux (lx). Eine optimale Farbauflösung ist bei 2.000 lx gegeben, während bei Werten unter 1.000 lx nur Unterscheidungen der Grauwerte möglich sind. Bei Werten über 8.000 lx entstehen Blendeffekte durch Überreizung der Zapfen-Photorezeptoren. So ist bei der Interpretation von Farben eine große Streubreite durch visuelle Farbwahrnehmung und unzureichende Standardisierung von Beleuchtung und Farbgestaltung festzustellen (20).

Die Deutsche Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde (DGZMK) fordert in ihrer Stellungnahme zur Bestimmung der Zahnfarbe (20) Rahmenbedingungen zur visuellen Abmusterung. So stellt „diffuses Nordlicht zur Mittagszeit“ (2.000 lx) die optimale Beleuchtungssituation dar, jedoch ist die Schaffung von Verhältnissen zur Erlangung konstanter Qualität des Tageslichtes in der Praxis wohl nur in den allerwenigsten Fällen realisierbar. Daher sollte die Bestimmung der Zahnfarbe unter einer dem Tageslicht angepassten, künstlichen Beleuchtung stattfinden. Des Weiteren fordert die DGZMK eine Reduzierung auffälliger Umgebungsfarben (beispielsweise Vorhänge, Kleidung des Patienten, Lippenstift etc). Dennoch bleibt die Farbwahrnehmung ein Prozess, der nicht standardisiert werden kann, da individuelle Unterschiede Einfluss auf die Farbwahrnehmung haben (20).

### 2.2.3 Methoden zur Farbbestimmung

Bei einem Vergleich zweier Farbwerte untereinander können oberhalb gewisser Grenzen Farbunterschiede wahrgenommen werden. Geschulte Betrachter können bezugnehmend auf die in Kapitel 3.1.1 dargestellte mathematische Gleichung Farbdifferenzen ab  $\Delta E \geq 1$  feststellen (19, 24, 46), ungeschulte Beobachter nehmen in der Regel Farbdifferenzen erst ab einem Wert von  $\Delta E \geq 3,3$  wahr (24). Verfärbungen werden meist stärker in Richtung Gelb als in Richtung Rot wahrgenommen (45, 64). In der Literatur sind unterschiedliche Angaben zu finden, ab welchem  $\Delta E$ -Wert Farbunterschiede klinische Relevanz erlangen (50); in den meisten Untersuchungen werden Werte zwischen  $\Delta E \geq 3,3$  und  $\Delta E \geq 3,7$  genannt. Geringere Unterschiede werden demnach als klinisch nicht bedeutungsvoll eingestuft, höhere gelten als klinisch inakzeptabel (17, 19, 24, 29, 51, 56). Es bleibt festzustellen, dass bisher keine einheitlichen Standards zur Farbbestimmung in der Zahnheilkunde verfügbar sind. So kann schon innerhalb einer Farbnummer, z.B. „A3“, eine Farbe variieren (11).

Im Jahr 1931 beschrieb *Clark* (10) erstmals Probleme der Farbanpassung von Keramik. Gut vierzig Jahre später (1973) griff *Sproul* (60, 61) diese Thematik wieder auf: Auf Grundlage des *Munsell*-Systems beschrieb er die Begriffe Hue (Bunton), Value (Helligkeit) und Chroma (Buntheitsgrad) und gab die Farbe in einem karthesischen Koordinatensystem an. Im gleichen Jahr stellte der gleiche Autor mithilfe eines Spektralfarbenmessgerätes fest, dass große Differenzen zwischen natürlichen Zähnen und industriell gefertigten Farbskalen bestehen (60, 61). In einer Untersuchung aus dem Jahr 1968 stellt ebenfalls *Sproul* fest, dass weltweit nur in 3% der Kliniken die Farbbestimmung ausführlich gelehrt wird (62).

Ab Mitte der siebziger Jahre des vergangenen Jahrhunderts wurden vor allem in den USA verschiedene Untersuchungen mit Spektralfarbmessgeräten durchgeführt, die viel Wissen über optische Eigenschaften von Zähnen und dentalen Werkstoffen brachten. Dennoch musste festgestellt werden, dass keines der angewandten Farbmessgeräte in der Praxis überzeugen konnte, da für die Messungen ein hoher Aufwand und viel Kenntnis erforderlich war. So lieferten die Geräte als Messergebnis eine Spektralkurve, deren Deutung nicht einfach war. Erschwerend kam hinzu, dass von Seiten der Industrie unterschiedliche Farbskalen zum Einsatz kamen. Eine Neuerung stellte in diesem Sinne das *Castor-System* da, mit dem eine valenzmetrische Messung mit Anzeige von Absolut- und Farbunterschiedswerten vorgenommen werden kann; diese Werte werden in herstellerbezogene Farbskalenangaben umgerechnet (3).

In der Regel wird heute die Zahnfarbe durch visuelles Vergleichen der Zähne mit einer Farbskala, auch Farbring genannt, bestimmt. Diese Bestimmung erfolgt meist durch den Zahnarzt, die Helferin oder den Zahntechniker (8, 33). Hierbei bieten die Hersteller unterschiedliche Farbskalen an, die sich sowohl in der Anzahl und Sortierung der Farben als auch in der Zahnfarbbestimmung selbst unterscheiden.

Der klassische Vita-Farbring aus den Jahren 1929, 1965 und 1983 ist nach Farbgruppen mit der Abfolge A1, A2, A3, A4, B1, B2 usw. aufgebaut. In einem ersten Schritt soll der Farbton (z.B. Vita A, B, C oder D) und in einem zweiten Schritt die Helligkeit (z.B. A3) bestimmt werden.



Abb. 2.6: VITA classical A1-D4 Farbskala (Prospekt Firma Vita)

Der Vita 3D-Farbschlüssel aus dem Jahr 1998 ist in 5 Gruppen eingeteilt. In einer Gruppe haben alle Zähne die gleiche Helligkeit (Value), die als erstes bestimmt werden soll. In einem zweiten Schritt wird die Farbtintensität (Chroma) verglichen. Im dritten Schritt wird der Farbton (Hue) ermittelt (mehr gelb oder mehr rot).



Abb. 2.7: VITA Toothguide 3D-Master (Prospekt Firma Vita)



Abb. 2.8: VITA Linearguide 3D-Master (Prospekt Firma Vita)

Beide Methoden sind fehlerbehaftet und müssen kritisch betrachtet werden, da das Ergebnis – wie bereits erwähnt – stark vom jeweiligen Betrachter, der Art und Intensität der Beleuchtung und von den optischen Eigenschaften des Farbgegenstandes beeinflusst wird (20). Hinzu kommt, dass einerseits Zähne nicht homogen aufgebaut sind und diese in Form und Größe variieren und andererseits sowohl Farbtafeln als auch Lichtverhältnisse nicht konstant sind (3, 8, 20, 57). Außerdem ist die Anzahl der Farbabstufungen zu gering, es liegen weder eine einheitliche Systematik noch festgelegte Standards zur Farbbestimmung vor, CIELAB-Werte sind hierzu nicht anwendbar (8).

Eine Möglichkeit, Ergebnisse dennoch vergleichbar zu machen, ist die gerätebasierte Farbbestimmung, die Kolormetrie (20, 24, 29, 46, 74). Diese gestattet prinzipiell, den Einfluss externer Fehlerquellen zu reduzieren und reproduzierbare Ergebnisse zu erzielen (33). Zusätzlich

können computergestützte Systeme Farbveränderungen unterhalb der für den Menschen wahrnehmbaren Grenze erfassen (24).

Bei der Kolormetrie wird das vom Objekt zurückgestreute Licht in Abhängigkeit von dessen Wellenlänge gemessen (Remissionsspektrum). Aus der Überlagerung von Beleuchtungs- und Remissionsspektrum sowie spektraler Empfindlichkeit erfolgt die Berechnung des Farbwertes mittels eines Computers (20).

Doch an zahnmedizinische Farbbestimmungsgeräte sind andere Anforderungen zu stellen als an diejenigen, die schon seit Jahren erfolgreich in der Industrie zum Einsatz kommen. So sind schon beim Blick auf den Zahn mehrere Schichten erkennbar: Schmelz, Dentin, Zement und Pulpa, hinzu kommen die umgebenden Weichgewebe. Hierbei wird deutlich, dass sowohl innerhalb des Zahnes als auch im Übergangsbereich zu den benachbarten Geweben verschiedene Grenzschichten vorhanden sind, die einen komplexen Eindruck vermitteln und den Farbeindruck beeinflussen (13, 20, 33). Die Farbbestimmung eines Zahnes ist daher – im Vergleich zu industriellen Produkten – ein deutlich komplexeres Unterfangen.

Seit Ende der 1990-er Jahre sind unterschiedliche Instrumente auf dem Markt verfügbar, deren Hersteller eine eindeutige Farbwahl im Bereich der Zahnmedizin versprechen. Im Jahr 2005 untersuchten *Hugo et al.* (33) die Fähigkeiten und Leistungen von Zahnfarbmessgeräten im Vergleich zu menschlichen Betrachtern. Die Autoren stellten fest, dass die Übereinstimmungen in der Farbbestimmung bei den menschlichen Betrachtern deutlich höher waren als bei den Farbmessgeräten. Bei den menschlichen Betrachtern wurden in 36,7% der Fälle Übereinstimmungen festgestellt. Im Vergleich zu Übereinstimmungen bei den Farbbestimmungsgeräten in nur knapp 10% der Fälle, wobei innerhalb der Gruppe der Farbmessgeräte bei *ShadeVision* die besten Werte in Bezug auf die Übereinstimmung festgestellt wurden.

Andere Autoren fanden bei Vergleichen der Farbbestimmung innerhalb der Gruppe menschlicher Betrachter Übereinstimmungen im Bereich von 52% bis 80% (21); *Horn et al.* (32) berichteten über Übereinstimmungen von 50% bis 65%. *Wee et al.* (69) geben 46,7% Übereinstimmung an. In diesem Fall wurde die Ermittlung der Daten unter Laborbedingungen an extrahierten Zähnen vorgenommen.

Die Resultate dieser Studien, insbesondere der vergleichenden Untersuchungen von *Hugo et al.* (40) belegen die Unausgewogenheit und Unreife der Farbbestimmungsgeräte im Vergleich zum menschlichen Betrachter oder zu Instrumenten, die zu industriellen Zwecken genutzt werden. Heute ist die computergestützte Farbbestimmung immer noch vergleichsweise auf-

wändig. Trotz hoher Reproduzierbarkeit sind die meisten Resultate weder befriedigend bzw. ausreichend sicher, noch scheinen sie die menschliche Wahrnehmung wiederzugeben (20, 33). Daher sollten neben der maschinellen Farbauswahl stets auch visuelle Kontrollen erfolgen. Die Weiterentwicklung elektronischer Systeme zur Farbmessung ist kontinuierlichen Prozessen unterworfen. Es bestehen noch beachtliche Ressourcen zur Verbesserung der computergestützten Farbbestimmung im Bereich der Zahnmedizin, beispielsweise durch verbesserte und leistungsfähigere Software und Geräte (33).

#### **2.2.4 Farbstabilität und Verfärbungen**

Untersuchungen zur Farbstabilität zahnfarbener Materialien zeigten stets Farbveränderungen (66). Diese können auch eine Indikation für den Austausch von Zahnfüllungen darstellen, selbst wenn diese aus klinischer Sicht nicht zu beanstanden sind (7, 24, 46). Somit stellen zum einen die Übereinstimmung von Farbe des natürlichen Zahnes mit der Farbe des synthetischen Materials (20), zum anderen aber auch dessen Farbtreue ein Qualitätsmerkmal der Restauration dar (40, 46, 64). Letzteres gilt im Besonderen für Fälle, in denen eine längere Tragedauer des Zahnersatzes aus verschiedenen Gründen nicht vermieden werden kann (40, 42, 74).

Die Ursachen für die Verfärbungen der Zahnwerkstoffe sind vielfältig und einerseits auf das Material selbst (24, 29, 30, 73, 74), andererseits auf externe Einflüsse zurückzuführen. Dem entsprechend wird zwischen intrinsischen und extrinsischen Verfärbungen unterschieden (7, 24, 46, 50, 66).

##### ***Intrinsische Verfärbungen***

Intrinsische oder interne Verfärbungen von Materialien spielen eine signifikante Rolle, da sie in der Regel irreversibel (46, 74) und von außen kaum beeinflussbar sind (34); diese Verfärbungen kommen durch Modifikationen innerhalb des Materials zustande. Dies geschieht beispielsweise durch Veränderungen der Matrixstruktur (7) und/oder durch Einlagerung von Partikeln in die Matrix. Mikrorisse oder Lücken zwischen Füllstoffen und Matrix sind die häufigsten Stellen, an denen sich Farbstoffe einlagern können (34, 51).

In etlichen Studien wurde gezeigt, dass Modifikationen innerhalb des Materials durch den Einfluss verschiedener Faktoren ausgelöst werden können (7, 14, 24, 29, 46, 50, 51, 74), diese sind:

- Energiequellen in Form von UV-Strahlung,
- chemische Reaktionen und
- die Lagerung des Materials in diversen Lösungen mit unterschiedlichen pH-Werten (34, 45, 64).

Das Ausmaß der Verfärbungen wird dabei beeinflusst von

- der Intensität der UV-Strahlung (45, 46),
- der Zusammensetzung des Materials (Anwesenheit von UV-Stabilisatoren, Initiatoren und Inhibitoren, Art und Anteil des Monomers, Anzahl und Typ des Füllstoffs) (19, 53, 66),
- dem System, mit dem der Werkstoff polymerisiert wurde,
- der Konzentration defekter oder ungesättigter Bindungen und
- der Umwandlungsrate von C=C-Doppelbindungen (24).

*Setz et al.* (59) zeigten, dass zwischen der Verfärbung des Zahnwerkstoffs und den angewendeten Füllstoffen ein Zusammenhang besteht. *Eldiwany et al.* (19) stellten fest, dass nicht nur die Art, sondern auch der mengenmäßige Anteil des Füllstoffes einen Einfluss auf Verfärbung haben kann. *Powers et al.* (53) und *Um et al.* (66) gehen davon aus, dass die Ursache der Verfärbungen in Veränderungen der Oberflächenmorphologie zu suchen ist.

Die Umgestaltung der Oberfläche wird einerseits durch Erosion der organischen Matrix mit Exposition der Füllstoffe ausgelöst, andererseits auch durch Abspaltprodukte infolge der Einwirkung von UV-Strahlen (45, 53). *Lang et al.* (45) beobachteten, dass Verfärbungen, die durch UV-Strahlen bedingt sind, auf Veränderungen der Farbpigmente zurückgeführt werden können. Dabei scheinen organische Farbpigmente weniger farbstabil zu sein als anorganische. Mit zunehmender Intensität der UV-Bestrahlung nehmen die Verfärbungen zu, klinisch relevante Veränderungen der Materialien treten in der Regel jedoch erst nach länger andauernder Strahlenexposition auf (24, 46).

Auch die Größe der Farbpigment-Partikel kann eine Rolle bezüglich der Farbtreue des Werkstoffs spielen. Für anorganische Farbpigmente sind sehr kleine Partikel charakteristisch, die sich, sehr dicht gepackt, in der Matrix befinden. Diese kompakte Anordnung hat einen Einfluss auf die Oberflächenbeschaffenheit und somit auch auf die Farbstabilität des Materials

(29). Insgesamt zeigen hellere Zahnwerkstoffe die Neigung, sich zu verfärben, da sie weniger Farbpigmente enthalten als dunklere Materialien (45, 46, 64); Grau und Gelb verfärben sich insgesamt am wenigsten (45).

Wurde ein Werkstoff lichtpolymerisiert, können wahrnehmbare Farbunterschiede entstehen, wohingegen ein nachträgliches Aushärten keinen weiteren messbaren Effekt auf die Farbstabilität hat. Dennoch finden sich in der Literatur hierzu unterschiedliche Angaben. In einigen Studien kamen die Autoren zum Schluss, dass durch Lichthärten keine Farbunterschiede entstehen (74), andere Studien weisen auf das Gegenteil hin (19).

Auf chemischer Ebene können Reaktionen des Amins (19, 46, 50) oder unreaktive Bestandteile der Methacrylat-Gruppen (7, 24) Veränderungen der Matrix hervorrufen. Auch infolgedessen können Verfärbungen beobachtet werden (als weiterer Effekt können vereinzelt auch chemische Irritationen oder allergische Reaktionen auftreten (19, 74). Trägt ein Patient eine temporäre Versorgung auf Methacrylat-Basis und führt Homebleaching mit zehnpromzentigem Carbamidperoxid durch, kann dies eine Verfärbung der temporären Werkstoffe in Richtung Orange bewirken (55).

Auch durch Wasserlagerung kann es zu Farbveränderungen auf Matrixebene kommen. Dabei durchdringt Wasser die Polymermatrix, wodurch Bindungen zerstört werden. Dies führt zu Veränderungen des Lichtbrechungsindex des Materials, was in einer Farbinstabilität resultiert (24). Obwohl der Einsatz von Stabilisatoren die Tendenz zu chemisch induzierter Farbveränderung verringern kann, neigen temporäre Kronen- und Brückenmaterialien dazu, Flüssigkeit aufzunehmen (74). So zeigten beispielsweise Proben, die in synthetischem Speichel und Kaffee gelagert wurden, große Verfärbungseffekte (73) (29, 74).

### ***Extrinsische Verfärbungen***

Extrinsische oder externe Verfärbungen sind das Ergebnis von Adsorption oder Absorption von Farbstoffen als Folge einer Kontamination durch externe Quellen (50). Eine Ursache hierfür können Unreinheiten sein, die während der Herstellung oder Verarbeitung der temporären Versorgung entstanden sind (14, 73). Auch die Art der Ausarbeitung und Politur der Materialien (24), Anlagerungen von Plaque, eine Ansammlung von Farbpigmenten oder Oberflächenrauigkeiten können zu extrinsischen Verfärbungen führen. Von Vorteil ist, dass die meisten oberflächlichen Verfärbungen durch Politur beseitigt werden können (40, 46).

Auch die tägliche Mundhygiene spielt eine wesentliche Rolle, wenn es um die Minimierung oberflächlicher Verfärbungen geht. Das Ausmaß der Verfärbungen von Restaurationen ist, wie in Studien beobachtet wurde, eng mit der Mundhygiene des Patienten (34) und dessen Ernährungsgewohnheiten (66) verknüpft. Farbstoffe aus farbigen Mundspüllösungen oder Lebensmitteln können in das Zahnmaterial eindringen und dieses verfärben. Exemplarisch sei hier die durch Karamelfarbstoffe erzielte, von blassgelb- bis tiefbraun reichende Farbe von Cola erwähnt (51).

Bei Untersuchungen zur Farbstabilität unpolierter Oberflächen beobachteten *Yannikakis et al.* (74), dass raue Oberflächen stärker verdunkeln als polierte (14, 29, 46, 51). Dem widersprechend stellte *Yaman* fest, dass eine glatte, gut polierte Oberfläche zwar ästhetisch ansprechender ist, jedoch keinen Einfluss auf die Reduzierung der Farbveränderungen zu haben scheint (73). Ferner wurde berichtet, dass der tägliche Kontakt mit Lebensmitteln, Zahnputzmitteln und Mundspüllösungen bei Materialien mit hoher Oberflächenrauigkeit die Tendenz, sich zu verfärben, verstärkt (30). So konnten auch durch die regelmäßige Anwendung von Chlorhexidin (CHX) vermehrt Verfärbungen festgestellt werden (40).

### **2.3 Stabilität temporärer Versorgungen**

Die Stabilität temporärer Versorgungen lässt sich mit dem Begriff der Biegefestigkeit beschreiben, der an dieser Stelle kurz erläutert werden soll. Die Biegefestigkeit (Einheit  $N/mm^2$ ) beschreibt den Wert der Biegespannung, bei dessen Überschreiten das Versagen des Werkstoffes durch Bruch eintritt. Hierbei gibt die Biegespannung die Kraft an, welche auf den Querschnitt einwirkt, der senkrecht zu seiner Ausdehnungsrichtung belastet wird. Die Biegefestigkeit wird mithilfe spezieller Prüfverfahren ermittelt, den 3- oder 4-Punkt-Biegetests. Dabei wird ein normierter Prüfkörper bis zum Bruch belastet. Durch Umrechnung der aufgebrachten Kraft erhält man den Wert der Biegefestigkeit (27).

In einer Reihe von In-vitro-Studien wurde die Stabilität temporärer Kronen- und Brückenmaterialien untersucht (25, 26, 35, 43, 49, 68). Hierbei konnte gezeigt werden, dass die Biegefestigkeit der Werkstoffe von der Geometrie der Restauration, den auftretenden Kaukräften, der Zahnbeweglichkeit sowie von thermischen Wechselbelastungen in der Mundhöhle abhängig ist. So haben Messungen gezeigt, dass bei einer mittleren Kaufrequenz von 1,66 Hz intraorale Kräfte zwischen 35 und 70 N auftreten können. Zudem können im Mund Temperaturschwankungen zwischen  $-8^{\circ}C$  und  $+81^{\circ}C$  und am Zahn von  $5^{\circ}C$  bis  $55^{\circ}C$  auftreten (44). In den Un-

tersuchungen konnte ferner gezeigt werden, dass die meisten temporären Kronen- und Brückenmaterialien eine vergleichsweise geringe Stabilität haben, woraus eine erhöhte Frakturgefahr der Materialien resultiert (68). Frakturen treten in vielen Fällen spontan auf, möglicherweise als Ergebnis eines tiefer gelegenen Risses (26).

Die Stabilität eines temporären Kronen- und Brückenmaterials kann auf verschiedene Art und Weise gesteigert werden, zum Beispiel durch die Verwendung eines Metallgerüsts (28). Der Vorteil solcher Gerüste liegt darin, dass sie direkt auf dem Zahnstumpf aufsitzen, was eine verwindungssteifere Konstruktion ergibt (23). Nachteilig wirkt sich aus, dass auf diese Weise verstärkte Versorgungen in einem Labor angefertigt werden müssen und somit nur mit einem erhöhten Zeit- und Kostenaufwand realisierbar ist (31).

Eine weitere Möglichkeit zur Erhöhung der Stabilität besteht in der Verstärkung mithilfe eines Metalldrahtes oder -bandes (1, 75). Auf diese Art verstärkte temporäre Versorgungen können wesentlich höheren Kräften widerstehen (31), insbesondere, wenn der Draht v-förmig gebogen ist (52). In neuerer Zeit wird auch die Verstärkung mit Kevlar diskutiert, doch mangelt es derzeit noch an Studien, die eine signifikante Steigerung der Biegefestigkeit durch Anwendung dieses Materials belegen (31).

Eine Verstärkung kann auch durch Anwendung von Fiberglasmaterialien oder Gewebeeinlagen erzielt werden (22). Ebenso ist das Auftragen von Komposit auf die okklusale Fläche zur Verringerung der Bruchgefahr möglich (9).

Verstärkte temporäre Versorgungen haben den Vorteil, dass eine Fraktur nicht zwangsläufig ein Auseinanderbrechen der Restauration zur Folge hat, wodurch unter anderem auch die Gefahr der Aspiration bzw. des Verschluckens von Teilen des Materials minimiert werden kann. Darüber hinaus ist es zeitsparender, zwei Teile in Position zu reponieren als eine neue temporäre Versorgung herzustellen (31).

## **2.4 Oberflächenmorphologie und Plaqueanlagerung**

Die meisten Bakterien können in der Mundhöhle überleben, wenn günstige Voraussetzungen für eine vermehrte Anhaftung an Oberflächen gegeben sind, wie sie zum Beispiel an Zähnen, Füllungen, Implantaten und Prothesen mit unterschiedlichen Oberflächencharakteristika zu finden sind (58). Nach initialer Bakterienanhaftung findet eine weitere Ansiedlung von Mikroorganismen unabhängig von der Oberflächenrauigkeit statt (38). Daraus folgt, dass bei

mangelnder Mundhygiene das Risiko der Entstehung von Karies und Parodontopathien erhöht ist (5, 38, 54, 58, 67, 68). Im Mikroskop betrachtet zeigen sich in Bereichen vermehrter Plaqueanlagerung große Mengen frei beweglicher Mikroorganismen, etwa Spirochäten, die Entzündungsreaktionen im umgebenden Gewebe auslösen können. Dies kann einen Anstieg des Bleeding-On-Probing-Index (BOP) mit histologischen Veränderungen und erhöhter Sulkusflussrate verursachen (51, 58). *Luthardt et al.* (47) zeigten in ihrer Studie, dass der Plaque-Index an temporären Versorgungen zunahm, der Papillenblutungsindex (PBI) hingegen blieb stabil.

Zur Sicherstellung einer gleichbleibenden Qualität temporärer Versorgungen muss deren Oberfläche während der gesamten Tragedauer unverändert bleiben (12). Um dies zu erreichen, sollte die Oberfläche temporärer Versorgungen vor dem Einsetzen dahingehend bearbeitet werden, dass sich nur wenig Plaque und Farbstoffe anlagern können (14, 30, 66, 73). Die Bearbeitung der Oberflächen erfolgt in der Regel durch eine Politur, ergänzend kann die Verwendung eines oberflächenvergütenden Lackes erfolgen (48).

Verschiedenartige Polierscheiben, -pasten und -bürsten aus unterschiedlichen Materialien und mit unterschiedlicher Zusammensetzung werden angewendet, um durch die Politur ein hochglänzendes, schmelzähnliches Aussehen der temporären Restauration zu erzielen (5). Die Polierbarkeit der Materialien ist hierbei abhängig von der Struktur der Füllstoffe, der Partikelgröße sowie der Zusammensetzung der Materialmatrix (30, 51, 58). Zum Polieren eignet sich Diamantpaste besser als Paste mit Aluminiumoxid, da die Diamantpaste glattere Oberflächen erzeugt, weil Füllstoffe und Matrix gleichmäßiger abgetragen werden (58). Für die Politur einer Oberfläche sollte ein Poliersystem gewählt werden, mit dem Rautiefen  $< 10 \mu\text{m}$  erreicht werden können (38); *Borchers* fordert sogar eine maximale Rautiefe von  $2 \mu\text{m}$  (5). *Weitman* und *Eames* (70) stellten fest, dass bereits ab Rautiefen zwischen  $0,7$  und  $1,44 \mu\text{m}$  Plaqueanlagerungen zu beobachten sind.

Bezüglich der Untersuchungen zur Polierbarkeit und Oberflächenrauigkeit der zahnärztlichen Werkstoffe sei darauf hingewiesen, dass die meisten Untersuchungen in vitro an nicht gekrümmten Oberflächen vorgenommen wurden. Die erzielten Resultate sind daher nicht gut in die klinische Praxis übertragbar (58).

### 3 Ziel der Arbeit

Die Hauptzielgröße der vorliegenden Arbeit war die Klärung der Fragestellung, in welchem Umfang sich die ursprüngliche Farbe des temporären Kronen- und Brückenmaterials während der Tragedauer verändert hat.

Als Nebenzielgrößen wurde geprüft, inwieweit Mundhygiene und Ernährungsgewohnheiten der Patienten, Mundverweildauer sowie die Oberflächenbearbeitung Einfluss auf Plaqueanlagerung, Verfärbung und Überlebensdauer des temporären Kronen- und Brückenmaterials haben.

Zusätzlich sollte geklärt werden, ob die Farbbestimmung bei temporären Kronen- und Brückenmaterialien mit einem elektronischen Farbmessgerät zu reproduzierbaren Ergebnissen führen kann.

## 4 Material und Methode

### 4.1 Temporäre und definitive Versorgungungen

In dieser Studie wurden die temporären Versorgungungen, die im Rahmen der Behandlung der Patienten angefertigt wurden, untersucht. Die Herstellung der temporären Versorgungungen entsprach dabei dem routinemäßigen Vorgehen in der Abteilung für Zahnärztliche Prothetik der Justus-Liebig-Universität Gießen: zunächst wurde vor der Präparation des Zahnes, der mit Zahnersatz versorgt werden soll, eine Versorgungsabformung genommen; nach erfolgter Präparation des Zahnes und dessen Abformung wurde dieser mit temporärem Kronen- und Brückenmaterial versorgt. Dazu erfolgte die Repositionierung der Versorgungsabformung mit dem temporären Material im Patientenmund. Nach der Entnahme der so hergestellten temporären Versorgung erfolgte deren Ausarbeitung und anschließende temporäre Zementierung auf dem präparierten Zahnstumpf. Sämtliche hierbei verwendeten Materialien waren die routinemäßig in der Abteilung genutzten Materialien.

Ergänzend zu dem beschriebenen routinemäßigen Behandlungsprotokoll erfolgten die Messungen zur Farbbestimmung der temporären Versorgungungen im Rahmen dieser Untersuchung stets extraoral: zunächst vor der Eingliederung und abschließend nach der Entnahme der temporären Versorgung, sofern eine Neuanfertigung der temporären Versorgung nicht indiziert war.

In dieser Studie wurden insgesamt 204 temporäre Versorgungungen untersucht, 115 im Oberkiefer und 89 im Unterkiefer. Des Weiteren wurden unterschiedliche Arten der definitiven Versorgung untersucht, wie der nachfolgenden Tabelle zu entnehmen ist:

Art der Versorgung	Anzahl
Einzelkronen ohne Stiftaufbau	49, davon 29 im Oberkiefer und 20 im Unterkiefer
Einzelkronen mit Stiftaufbau	7, davon 6 im Oberkiefer und 1 im Unterkiefer
Brücken	25, davon 20 im Oberkiefer und 5 im Unterkiefer; insgesamt 58 temporäre Versorgungungen, davon 48 im Oberkiefer und 10 im Unterkiefer

Teleskoparbeiten	33, davon 13 im Oberkiefer und 20 im Unterkiefer; insgesamt 90 temporäre Versorgungen, davon 32 im Oberkiefer und 58 im Unterkiefer
------------------	---

Tab. 4.1: Art und Anzahl der definitiven und temporären Versorgungen in dieser Studie

Von den 20 untersuchten Brücken im Oberkiefer waren 11 dreigliedrig, 5 viergliedrig, 2 fünfgliedrig und jeweils eine sechs- bzw. elfgliedrig; 14 Brücken hatten zwei Pfeiler, 5 hatten drei Pfeiler und 1 hatte fünf Pfeiler.

Von den 5 untersuchten Brücken im Unterkiefer waren 3 dreigliedrig sowie jeweils eine fünf- bzw. sechsgliedrig; alle Brücken hatten zwei Pfeiler.

Von den 13 untersuchten Teleskoparbeiten im Oberkiefer hatten 9 zwei Pfeiler sowie jeweils zwei 3 bzw. 4 Pfeiler.

Von den 20 untersuchten Teleskoparbeiten im Unterkiefer hatten 6 zwei Pfeiler, 9 hatten drei Pfeiler, eine Arbeit hatte fünf Pfeiler und zwei hatten 6 Pfeiler. Bei zwei Arbeiten mussten lediglich eine Primärkrone neu angefertigt werden.

## 4.2 Verwendete Materialien und Instrumente

### *Material für die Versorgungsabformung*

Die Versorgungsabformungen wurden mit „Optosil Comfort Putty“ (Heraeus GmbH, Hanau) hergestellt.

### *Temporäres Kronen- und Brückenmaterial*

Die Versorgung der präparierten Zahnstümpfe erfolgte mit dem generell in der Abteilung eingesetzten temporären Kronen- und Brückenmaterial „Structur Premium“ (VOCO GmbH, Cuxhaven).

„Structur Premium“ ist ein pastöses Material, ein aus einer Mischung verschiedener Dimethacrylate, Silikate, Initiatoren, Pigmente und Stabilisatoren bestehender Kompositwerkstoff. Der Bis-GMA-Anteil beträgt 36-38%.

Die Herstellung der temporären Versorgungen erfolgte nach Herstellerangaben jeweils durch den behandelnden Studenten. Chargennummern, Farben sowie Haltbarkeitsdaten des verwendeten Kronen- und Brückenmaterials „Structur Premium“ sind in Tab. 9.1 zusammengefasst.

### ***Rotierende Instrumente zur Ausarbeitung der Oberfläche***

Vor dem Eingliedern der temporären Versorgung erfolgte die Bearbeitung der Oberfläche mit unterschiedlichen Instrumenten und Materialien durch den jeweiligen Behandler.

In allen Fällen wurden zunächst mit einer kreuzverzahnten Hartmetallfräse (HM 138 FX 018, Hager und Meisinger, Neuss) die groben Überschüsse entfernt. Eine weitere Bearbeitung der Oberfläche der temporären Versorgung erfolgte mit einer extrafeinen Hartmetallfräse (MH 79 EX 40, Hager und Meisinger, Neuss). Ergänzend hierzu wurde die Oberflächenbearbeitung sowohl mit einem Silikonpolierer (ID 5061/12 bzw. ID 5091/12, beide KerrHawe, Bioggio, Schweiz) als auch mit Bimsstein (mittlere Körnung, Best-Nr. 100364, Hinrichs GmbH, Goslar; Bürste von Polirapid) durchgeführt mit sich anschließender Hochglanzpolitur mit Polierpaste „KMG“ (69101000, Candulor, Wangen, Schweiz, Wollbürsten von Polirapid). Letztere erfolgte mit 15.000 oder 25.000 Umdrehungen pro Minute.

### ***Einsetzement für die temporären Versorgungen***

Alle temporären Versorgungen wurden mit „TempBond“ (60058, KerrHawe, Bioggio, Schweiz) entsprechend der Herstellerangaben temporär zementiert.

### ***Farbmessgerät ShadeVision***

Das seit Ende 2001 auf dem Markt erhältliche Zahnfarbmessgerät ShadeVision (Fa. X-Rite, Grandville, USA, Abb. 5) ist ein portables Gerät, das mittels Dockingstation über einen USB-Anschluss mit einem Computer verbunden wird.

Das Gerät ist mit einem Messfeld von 17 x 20 mm ausgestattet. Zur Messung befindet sich am vorderen Ende des Gerätes ein Schirm, der zum einen die Strahlen externer Lichtquellen eliminieren soll, zum anderen gewährleistet er eine konstante Entfernung zwischen Messobjekt und Bildsensor. Zusätzlich bietet das Gerät die Möglichkeit, über das auf der Rückseite

befindliche Display die Position des Messobjektes während der Messung zu kontrollieren und gegebenenfalls zu korrigieren.

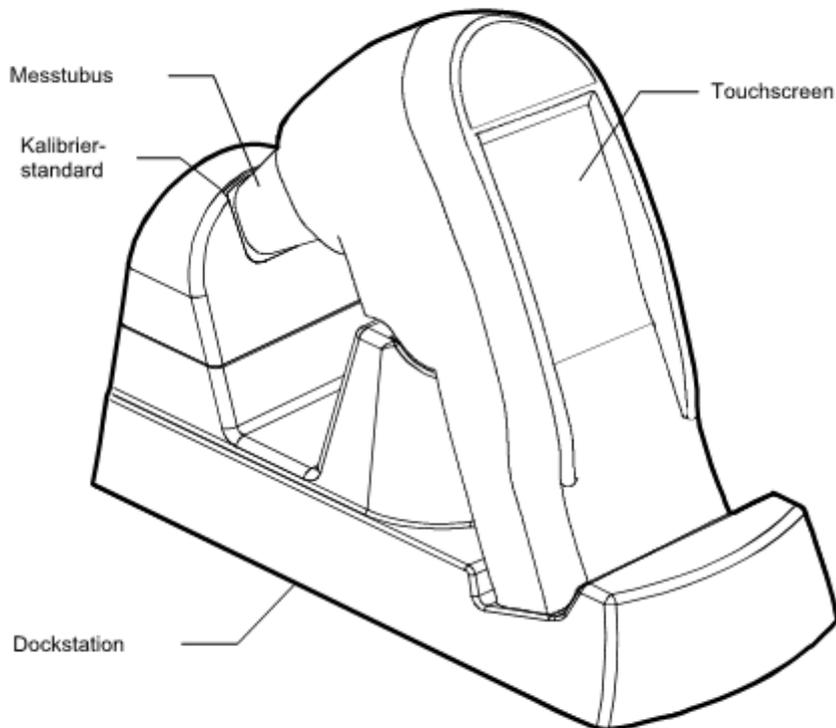


Abb. 4.1: Schematische Darstellung des ShadeVision-Gerätes (72)

Vor jedem Benutzen des Gerätes erfolgt eine kurze Phase der Kalibrierung. Dabei verbleibt das Gerät in der Dockingstation. Die Kalibrierung wird mittels einer weißen Keramikplatte, die in die Gerätehalterung direkt vor dem Austrittsfenster des Messtubus montiert ist, automatisch durchgeführt. Als Referenz der farbmimetrischen Werte  $x$ ,  $y$ ,  $z$  der Keramikplatte dient der NIST-Standard (National Institute for Standard and Technology, USA).

Der eigentliche Messvorgang umfasst mehrere Schritte. Zuerst wird mittels einer internen Lichtquelle das zu messende Objekt mit konstanter Bestrahlungsstärke angestrahlt. Das vom Messobjekt reflektierte Licht wird anschließend durch eine spezifische Anordnung von Linsen und Filtern auf den Bildsensor projiziert, digitalisiert und an einen in das Gerät eingebauten Mikroprozessor weitergeleitet. Dieser speichert die Daten im mobilen Gerät. Nach Been-

digung des Messvorganges wird das Gerät auf die Dockingstation zurückgesetzt, wodurch das automatische Auslesen der Daten erfolgt.

Die weitere Verarbeitung und Auswertung der Messwerte erfolgt softwaregesteuert entsprechend den Normalspektralwertkurven X, Y, Z über den gesamten Bereich des sichtbaren Lichts. Diese primären Messwerte werden auf die CIELAB-Werte bei Normlicht D50 bezogen. Die Software moduliert die Werte und teilt sie automatisch den Farbschlüsseln der Hersteller zu (72).

Gebrauch fand das System in der Softwareversion 3.01. Als Hardware diente ein handelsübliches ShadeVision-Gerät. Dieses kommt auch im Rahmen der studentischen Kurse sowie der Patientenbehandlung in der Abteilung für Zahnärztliche Prothetik der Universität Gießen zum Einsatz.

Die Farbmessung der temporären Versorgungen erfolgte extraoral. Hierzu wurde die ausgearbeitete und polierte temporäre Versorgung in eine mit schwarzem, mattem Papier ausgekleidete Box (Eigenbau) platziert und dort mit rosa Plattenwachs fixiert. Dies war zum einen notwendig, da die Form der temporären Versorgung einen eigenständigen Stand meist nicht ermöglichte, zum anderen wurde mit dem rosa Wachs die Gingiva simuliert.

Vor dem Einsetzen der temporären Versorgung in die Mundhöhle erfolgte eine Baseline-Messung, um Farbveränderungen durch im Lumen befindlichen temporären Einsetzzement ausschließen zu können. Nach dem Ausgliedern der temporären Versorgung wurde das Lumen von den Zementresten befreit und es erfolgte die abschließende Messung.

Musste eine temporäre Versorgung aus verschiedenen Gründen neu angefertigt werden, so wurde die Baseline-Messung für die temporäre Versorgung am Tag der Neuanfertigung wie oben beschrieben wiederholt.

In der vorliegenden Studie erfolgte eine Zuteilung zum Farbsystem Vita Classic (Fa. Vita Zahnfabrik, Bad Säckingen).

Nach dem Auslesen der Daten wurden die aktiven Zahnbereiche des Messobjektes festgelegt und anschließend aus der gesamten Fläche ein Wert ermittelt. Dieser wurde als „Vitapan Classical“ – Farbe festgelegt und gespeichert.

### ***Plaquetanfärbemittel***

Für diese Untersuchung wurde der Plaqueindex des Patienten aus der routinemäßig erhobenen Behandlungsdokumentation entnommen. Die Bestimmung erfolgte mit der Plaque-

Färbelösung Mira-2-Ton (605655, Hager & Werken, Duisburg). Die Lösung wurde auf ein Wattestäbchen getropft und anschließend auf den Kontrollzahn bzw. die temporäre Versorgung aufgebracht.

Als Kontrollzahn wurde – sofern möglich – der analoge Zahn im gegenüberliegenden Quadranten gewählt. War dieser nicht mehr vorhanden, wurde auf einen Zahn im antagonistischen Quadranten zurückgegriffen. War dieser ebenfalls nicht mehr in situ, wurde der Plaqueswert am Nachbarzahn der temporären Versorgung bestimmt. Dabei erfolgte das Anfärben von vestibulär und oral. Der so ermittelte Plaqueswert stellt die Summe der erhobenen Schweregrade geteilt durch die Anzahl der bewerteten Flächen, hier zwei, dar.

Die Bestimmung des Plaque-Wertes erfolgte nach dem Plaque-Index nach Quigley und Hein, modifiziert nach Turesky et al. (QHI, siehe Tab. 9.2)

Die Bestimmung des Plaqueswertes der temporären Versorgungen erfolgte extraoral nach selbem Modus.

### **4.3 Dokumentation der Daten**

Die Datengewinnung für diese Studie erfolgte im Rahmen der routinemäßigen Dokumentation der Behandlung. Die Erfassung aller patientenbezogenen Daten erfolgte durch die Studenten im Kurs. Diese dokumentierten ihre Ergebnisse in einer Softwaremaske, die in das MZD-Programm integriert war. Screenshots der Eingabemasken befinden sich im Anhang.

Die Ermittlung der Farbmesswerte erfolgte mit dem ShadeVision-Gerät im „Multi-Shade-Modus“ durch den Autor der vorliegenden Arbeit. Als Messbereich wurde die gesamte Temporäre Versorgung markiert. Die Ergebnisse aller Messungen wurden entsprechend den Angaben des ShadeVision-Gerätes am PC ausgewertet, in Form von Microsoft Excell-Tabellen archiviert und am Ende aller Messungen in das SPSS-Programm übertragen.

### **4.4 Ethische Aspekte**

Im Rahmen dieser Studie wurde nichts Studienbezogenes an den Patienten durchgeführt. Als einzige Besonderheit erfolgte die Bestimmung der Farbe der temporären Restauration vor ihrer Eingliederung am Patienten, unabhängig von dessen Person und nach Abschluss der

Behandlung, d.h. nach Entfernen und Verwerfen der temporären Versorgung, die dann am Patienten nicht weiter verwendet wurde.

Die routinemäßige Therapie der Patienten wurde durch diese Studie in keiner Weise tangiert und alle patientenbezogenen Daten wurden nach Abschluss der Behandlung der routinemäßigen Behandlungsdokumentation entnommen. Aus diesem Grund wurde zum Zeitpunkt des Beginns der Studie auf die Einholung eines Ethikvotums verzichtet.

## **4.5 Auswertung**

Die statistische Auswertung der Resultate erfolgte mithilfe der SPSS-Software, Version 12 (SPSS Inc., Chicago, Illinois, USA). Grafiken und Tabellen wurden unter Anwendung der Programme Microsoft Word und Excel erstellt.

## **4.6 Statistische Verfahren**

Zur Beurteilung der Überlebenszeit der temporären Versorgungen wurden die klinischen Daten anhand der Cox-Regression statistisch ausgewertet. Die Ereigniszeitanalyse ist ein Verfahren, welches die Einschätzung des Zeitraums, der bis zum Eintritt eines definierten „Endereignisses“ vergeht („time to event“), gestattet.

In der vorgelegten Arbeit wird als Überlebenszeit der temporären Versorgung die Zeitspanne zwischen der Eingliederung der Restauration und deren definitiver Entfernung („Endereignis“) angesehen; unabhängig davon, ob die Restauration wegen Eingliederung der definitiven Versorgung oder wegen einer erforderlichen und erfolgten Neuanfertigung einer weiteren temporären Restauration entfernt wird.

Weiter wurde die potenzielle Beeinflussung des Endereignisses (der Entfernung der temporären Versorgung) durch die Lage der temporären Versorgung untersucht.

Zum Vergleich stetiger Merkmale zwischen den zwei Gruppen wurden der Median- bzw. der Wilkoxon-Test für unabhängige Stichproben verwendet. Als statistisch signifikant wurde bei allen angewendeten Tests eine Irrtumswahrscheinlichkeit von  $p \leq 0,05$  angenommen.

Sämtliche statistischen Berechnungen wurden mit der SPSS-Software ausgeführt.

## 5 Ergebnisse

### 5.1 Hauptzielgröße: Farbveränderungen

#### *Verteilung der Farbtöne*

In den nachfolgenden Tabellen ist die Verteilung der Farbtöne für die temporären Versorgung-  
gen aufgeführt. Die Anordnung der Zahnfarben erfolgt analog zur Sortierung des „Vitapan  
Classical-Farbringes“ (Firma Vita Zahnfabrik) nach Stoll (63) mit „B1“ als hellste und „C4“  
als dunkelste Zahnfarbe.

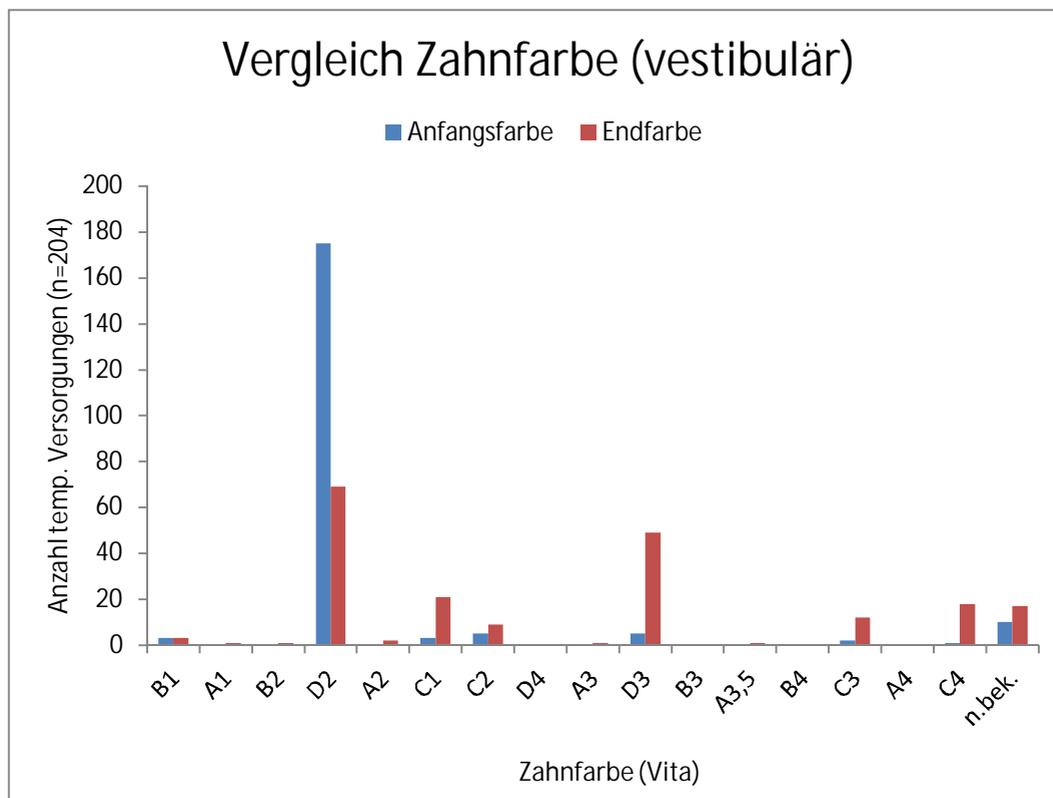


Abb. 5.1: Verteilung der Farbtöne der temporären Versorgung, Messung von vestibulär (n=204)

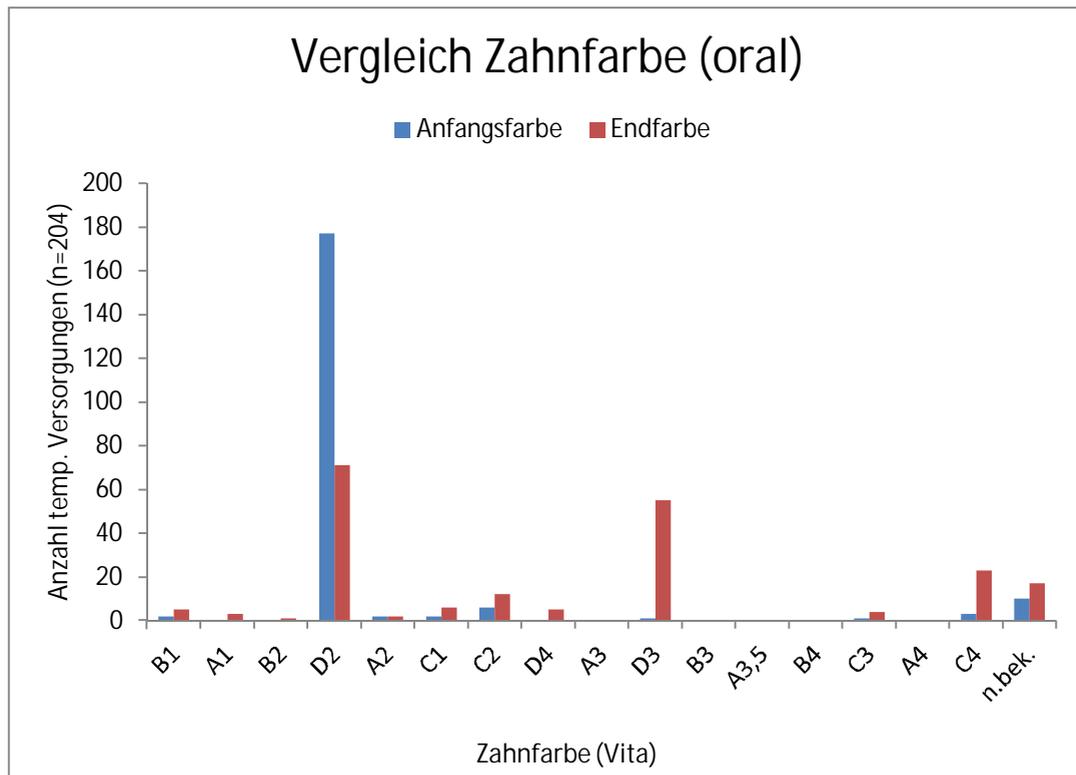


Abb. 5.2: Verteilung der Farbtöne der temporären Versorgung, Messung von oral (n=204)

### ***Farbwertdifferenzen***

Der Vergleich von Ausgangs- und Endfarben in der Messung jeweils von vestibulär bzw. oral der temporären Versorgungen ergibt nachfolgende Verteilung. Der Farbdifferenzmessung wurde die Sortierung des „Vitapan Classical-Farbringes“ (Firma Vita Zahnfabrik) nach Stoll (63) zugrunde gelegt.

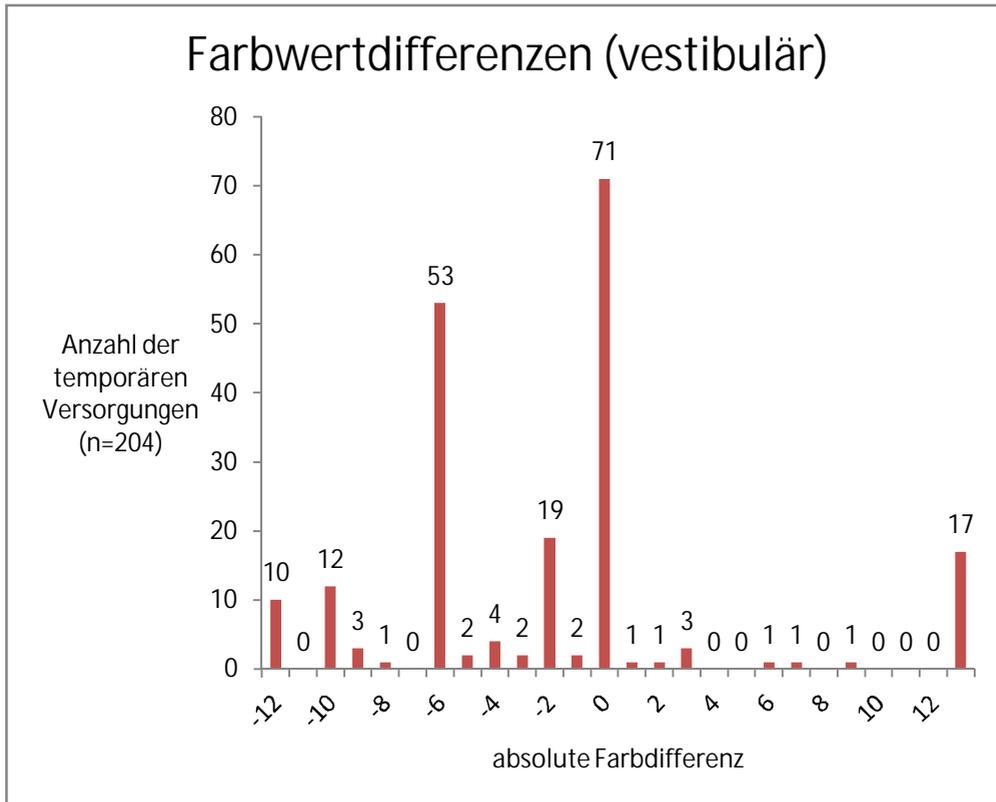


Abb. 5.3: Farbdifferenz von Ausgangs- und Endfarbe der temporären Versorgung, Messung von vestibulär (n=204)

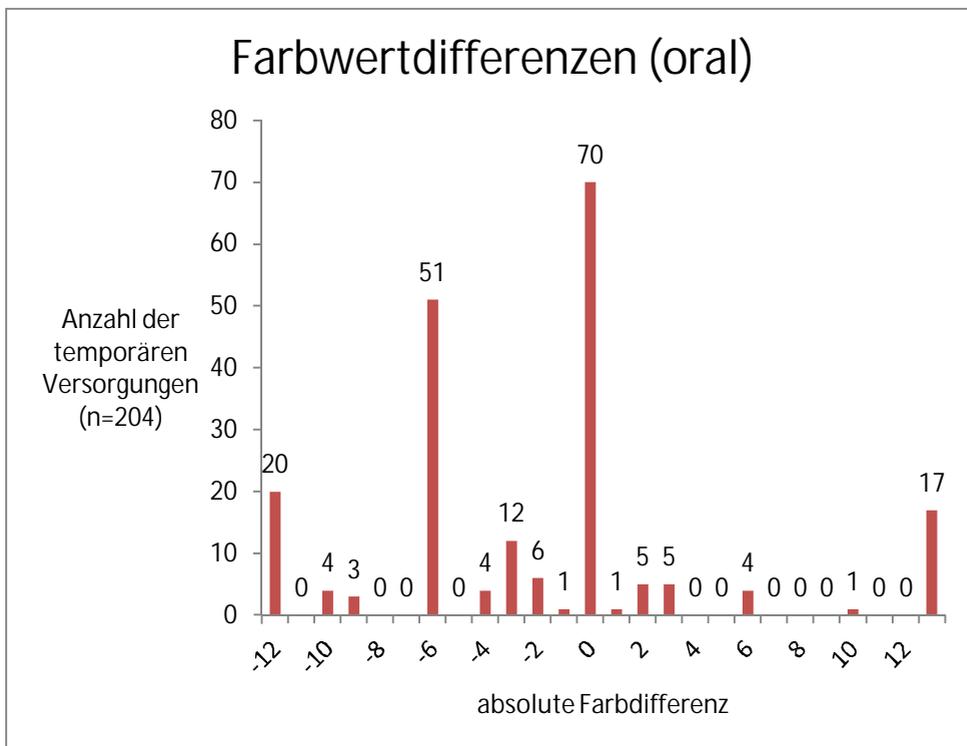


Abb. 5.4: Farbdifferenz von Ausgangs- und Endfarbe der temporären Versorgung, Messung von oral (n=204)

## 5.2 Nebenzielgrößen

### 5.2.1 Plaqueanlagerung

In dieser Studie wurde herausgefunden, dass an den temporären Versorgungen klinisch eine vermehrte Plaqueanlagerung feststellbar ist. Betrachtet man die Plaqueanlagerung der temporären Versorgung und des Kontrollzahnes ergibt sich folgende Verteilung:

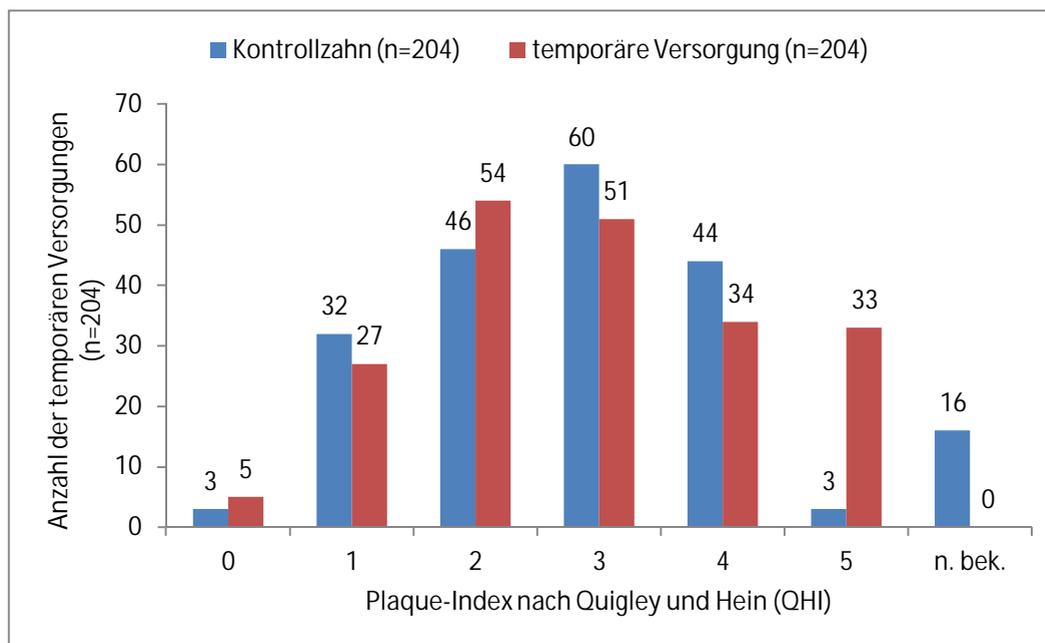


Abb. 5.5: Verteilung des Plaque-Index von Kontrollzahn und temporärer Versorgung (n=204)

### 5.2.2 Mundverweildauer

Betrachtet man alle 204 temporären Versorgungen, so ergibt sich für diese Studie eine durchschnittliche Mundverweildauer von 23,9 Tagen, unabhängig davon, ob und aus welchem Grund die temporäre Versorgung ausgetauscht werden musste.

#### *Temporäre Versorgungen, die nicht wieder erneuert werden mussten*

In 89 Fällen musste die temporäre Versorgung nicht wieder erneuert werden. In dieser Gruppe beträgt die minimale Tragedauer 3 Tage, die maximale 139 Tage und die durchschnittliche Mundverweildauer 45,9 Tage.

***Temporäre Versorgungen, die einmal erneuert werden mussten***

In 79 Fällen musste die temporäre Versorgung einmal erneuert werden. Dabei umfasste die Zeitspanne vom ersten Einsetzen bis zur erneuten Anfertigung minimal 1 Tag, maximal 127 Tage und im Durchschnitt 18,9 Tage.

Von der erneuten Anfertigung bis zum Einsetzen der definitiven Versorgung vergingen minimal 3 Tage, maximal 71 Tage im Durchschnitt 33,8 Tage.

***Temporäre Versorgungen, die zweimal erneuert werden mussten***

In 24 Fällen musste die temporäre Versorgung zweimal erneuert werden. Dabei umfasste die Zeitspanne vom ersten Einsetzen bis zur erneuten Anfertigung minimal 1 Tag, maximal 128 Tage und im Durchschnitt 14,9 Tage.

Von der erneuten Anfertigung bis zum Defekt vergingen im zweiten Intervall minimal 1 Tag, maximal 65 Tage und die durchschnittliche Mundverweildauer betrug 15,1 Tage.

Im letzten Abschnitt vergingen nach erneuter Anfertigung bis zum Einsetzen der definitiven Versorgung minimal 5 Tage, maximal 63 Tage im Durchschnitt 31,4 Tage.

***Temporäre Versorgungen, die dreimal erneuert werden mussten***

In 9 Fällen musste die temporäre Versorgung dreimal erneuert werden. Dabei umfasste die Zeitspanne vom ersten Einsetzen bis zur erneuten Anfertigung minimal 2 Tage, maximal 119 Tage und im Durchschnitt 19,6 Tage.

Das zweite Intervall umfasste minimal 1 Tag, maximal 22 Tage und die durchschnittliche Mundverweildauer betrug 14,0 Tage.

Im darauffolgenden Zeitabschnitt vergingen minimal 4 Tage, maximal 45 Tage und im Durchschnitt 14,9 Tage.

Im letzten Intervall vergingen von erneuten Anfertigung bis zum Einsetzen der definitiven Versorgung minimal 7 Tage, maximal 51 Tage und im Durchschnitt 20,3 Tage.

### 5.2.3 Gründe für Neuanfertigung

Von den temporären Versorgungen mussten 151 mindestens einmal wieder neu angefertigt werden, bei 204 temporären Versorgungen war dies nicht notwendig.

Betrachtet man die Ursachen, aus welchen Gründen die temporären Versorgungen neu angefertigt werden mussten, so zeigt sich, dass in insgesamt 72% entweder Bruch oder Verlust als Ursache für die Neuanfertigung zu finden ist. In gut einem Viertel (26%) der Fälle war die Neuanfertigung notwendig, weil der Zahnstumpf erneut präpariert werden musste und in 2% der Fälle wurde die temporäre Versorgung während des Herstellungsprozesses unbrauchbar (z.B. Zerschneiden, zu starkes Kürzen).

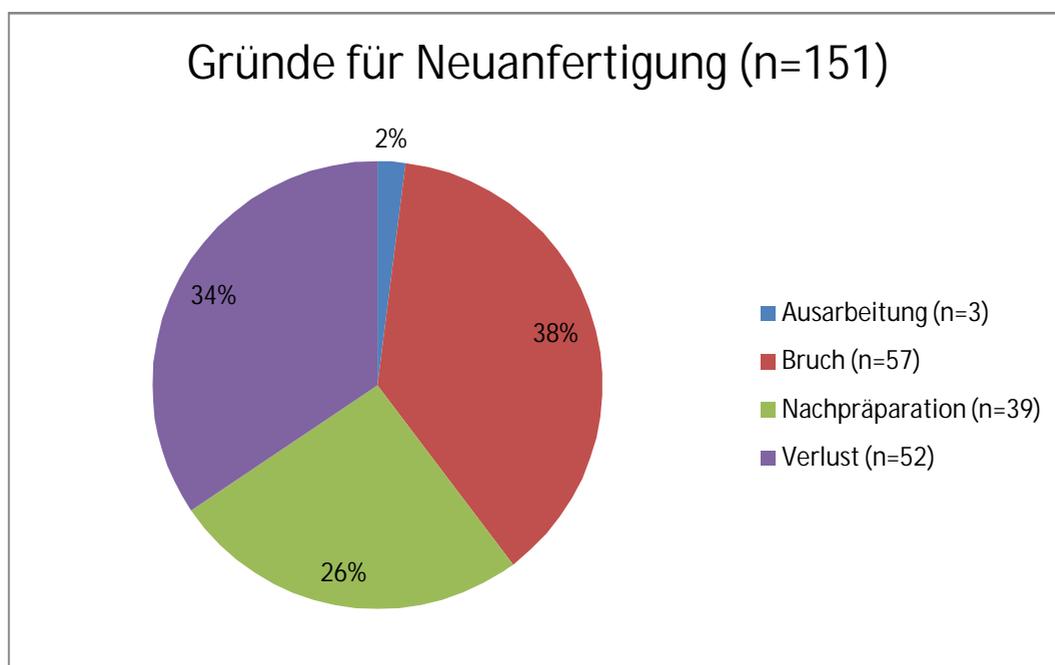


Abb.5.6: Gründe für die Neuanfertigung der temporären Versorgung (n=151)

## 5.2.4 Ernährungsgewohnheiten und Ausarbeitung

Die statistische Auswertung der Verfärbung getrennt nach Lokalisation der temporären Versorgung zeigte tendenziell Verfärbungen, hier besonders im Front- und Eckzahnbereich, wenn der Patient mehr als eine temporäre Versorgung hatte. Diese Tendenz ist auch zu erkennen, wenn der Patient Raucher ist und sich die temporäre Restauration im Prämolaren- bzw. Front- und Eckzahnbereich befindet.

In der folgenden Tabelle ist der **p-Wert des Wilcoxon-Tests** angegeben:

Einflussfaktor	Molar		Prämolar		Front-/Eckzahn	
	1 temp. Versorgung pro Patient	mehr als 1 temp. Versorgung pro Patient	1 temp. Versorgung pro Patient	mehr als 1 temp. Versorgung pro Patient	1 temp. Versorgung pro Patient	mehr als 1 temp. Versorgung pro Patient
Teetrinker	0,0921	0,2372	1,0000	0,8063	1,0000	0,6370
Weintrinker	0,4867	0,5334	0,5305	0,8059	0,7352	0,0904
Raucher	0,4754	0,3421	0,7523	0,3047	0,5042	0,6208
Silikonpolier	0,5051	0,7736	1,0000	1,0000	0,3262	0,1506
Politur mit Bimsstein und KMG	0,1642	0,2314	0,7521	1,0000	0,7249	0,7891
QHI temp. Versorgung	v: 0,5013 o: 0,4099	v: 0,9345 o: 0,7978	v: 0,9084 o: 0,8887	v: 0,7898 o: 0,8496	v: 0,1696 o: 0,6188	v: 0,6927 o: 1,0000
Tragedauer	0,3629	0,1812	0,8210	0,7729	0,1119	v: <b>0,0415</b>

Tab. 5.1: Ergebnisse der univariaten Analyse der möglichen Einflussfaktoren. Im Bezug auf den QHI-Wert bezeichnet „v“ den Wert der Messung von vestibulär und „o“ den Wert der Messung von oral.

In der folgenden Tabelle ist der **p-Wert des Median-Tests** angegeben.

Einflussfaktor	Molar		Prämolar		Front-/Eckzahn	
	1 temp. Versorgung pro Patient	mehr als 1 temp. Versorgung pro Patient	1 temp. Versorgung pro Patient	mehr als 1 temp. Versorgung pro Patient	1 temp. Versorgung pro Patient	mehr als 1 temp. Versorgung pro Patient
Teetrinker	0,4953	0,5446	1,0000	0,8028	0,7409	0,4833
Weintrinker	0,7282	0,3484	1,0000	0,6146	0,1788	0,3396
Raucher	1,0000	0,5273	0,1005	<b>0,0321</b>	<b>0,0354</b>	0,2282
Silikonpolier	0,3145	0,2350	0,7556	0,2090	0,5118	0,2356
Politur mit Bimsstein und KMG	0,0776	<b>0,0376</b>	1,0000	0,4482	0,4889	0,1170
QHI temp. Versorgung	v: 0,9325 o: 0,6607	v: 0,7252 o: 1,0000	v: 0,9354 o: 0,9736	v: 0,9969 o: 0,7946	v: 0,8560 o: 0,8349	v: 0,9254 o: 0,8999
Tragedauer	0,7906	0,3649	0,5759	0,1671	0,0630	<b>0,0473</b>

Tab. 5.2: Ergebnisse der univariaten Analyse der möglichen Einflussfaktoren. Im Bezug auf den QHI-Wert bezeichnet „v“ den Wert der Messung von vestibulär und „o“ den Wert der Messung von oral.

## 6 Diskussion

In der vorliegenden Arbeit sollte als Hauptzielgröße die Frage geklärt werden, in welchem Umfang sich die ursprüngliche Farbe eines temporären Kronen- und Brückenmaterials während der Tragedauer verändert hat.

Als Nebenzielgrößen sollte geprüft werden, inwieweit Mundhygiene und Ernährungsgewohnheiten der Patienten, Mundverweildauer sowie die Oberflächenbearbeitung Einfluss auf Plaqueanlagerung, Verfärbung und Überlebensdauer des temporären Kronen- und Brückenmaterials haben.

Zusätzlich sollte geklärt werden, ob die Farbbestimmung bei temporären Kronen- und Brückenmaterialien mit einem elektronischen Farbmessgerät zu reproduzierbaren Ergebnissen führen kann.

### 6.1 Kritische Betrachtung der eigenen Studie

Die temporären Versorgungen wurden von den jeweils behandelnden Studenten hergestellt. Somit war die Qualität der temporären Versorgung von individuellen Faktoren der Behandler abhängig. Zusätzlich war es trotz intensiver und regelmäßiger Kontrollen seitens des Doktoranden weder zeitlich noch logistisch möglich, die Herstellung und Ausarbeitung jeder einzelnen temporären Versorgung zu überwachen.

Als weiterer kritischer Punkt ist die Methodik der Farbmessung zu nennen. Da das Farbmesssystem nicht für extraorale Messungen konzipiert worden ist, die Messungen jedoch unter vergleichbaren Bedingungen stattfinden sollten, wurden sämtliche Messungen mithilfe einer Box durchgeführt (vgl. Kap. 4.2.5). Dabei war es nicht immer möglich, das Verhältnis von rosa Plattenwachs zu schwarzem Hintergrund reproduzierbar gleich groß zu gestalten. Des Weiteren ist das Farbmesssystem für die Farbbestimmung natürlicher Zähne zur Messung im Mund entwickelt worden. Im Vergleich dazu wurde die Farbbestimmung der temporären Versorgungen extraoral durchgeführt. Zusätzlich sind die temporären Versorgungen Hohlkörper, was auf das Ergebnis der Farbmessung einen Einfluss haben kann.

In wenigen Fällen war es auch nicht möglich, die finale Messung der temporären Versorgung durchzuführen, da zum einen nicht alle Patienten mit der definitiven Versorgung bis zum En-

de des Untersuchungszeitraumes versorgt werden konnten, zum anderen gingen teilweise die temporären Versorgungen verloren oder zu Bruch.

Der Zeitraum der Untersuchung erstreckte sich von Mitte April 2006 bis Mitte Juli 2006. Es ist davon auszugehen, dass durch einen längeren Untersuchungszeitraum mehr Daten hätten generiert werden können, die eine statistisch aussagekräftige Auswertung möglich gemacht hätten.

## 6.2 Diskussion der Ergebnisse

In zahlreichen Studien wurde beobachtet, dass temporäre Versorgungen dunkler werden (16, 17, 29, 30, 42, 45, 73, 74). Allerdings handelt es sich bei diesen Untersuchungen um in-vitro-Studien, bei denen unterschiedliche temporäre Materialien verschiedenen Farblösungen oder UV-Bestrahlung für bestimmte Zeitintervalle ausgesetzt wurden, um Farbverfärbungen messen zu können. *Koumjian et. al* (42) und *Lang et. al* (45) zeigten, dass mit zunehmender Dauer der Lagerung in verschiedenen Farblösungen die temporären Materialien sich zunehmend verdunkeln. *Doray et. al* (17) zeigten, dass sich unter Einfluss von UV-Licht neun von zwölf Proben um mindestens eine Farbstufe verdunkelten und *Inokoshi et al.* stellten fest, dass mehrere Faktoren wie beispielsweise Art und Bearbeitung des Materials, die Mundhygiene der Patienten als auch eine Mischung aus internen und externen Verfärbungen Einfluss auf die Farbstabilität der Materialien haben können (34).

Bei den Untersuchungen wird der Grad der Verfärbung durch die Differenz  $\Delta E$  ausgedrückt, wobei hierbei auch jeweils die klinische Relevanz dieses Wertes berücksichtigt werden muss (45, 46). In diesem Zusammenhang haben *Gantantzopoulou et al.* (24) festgestellt, dass in der Zahnheilkunde Farbwertdifferenzen von  $\Delta E < 1$  festgestellt werden können. Da der Durchschnitt der Bevölkerung jedoch Farbdifferenzen erst ab  $\Delta E > 3,3$  wahrnehmen kann, sind Verfärbungen erst ab diesem Wert als klinisch nicht mehr akzeptabel anzusehen (17, 19, 24, 34, 51). In einer Studie untersuchten *Luthardt et al.* unter anderem die Patientenzufriedenheit in Bezug auf Verfärbungen temporärer Versorgungen. Dort zeigte sich, dass die Patienten auch durch leichte Verfärbungen nicht weniger zufrieden waren (47).

Bei verschiedenen in-vitro-Studien erfolgte die Farbbestimmung mittels Kolormetrie und die Angabe der Farbwertdifferenzen wurde durch die Differenz der LAB-Werte ermittelt (19, 45, 73, 74). In dieser Studie erfolgte der Vergleich der Farbwertdifferenzen aufgrund der Messer-

gebisse des Farbmessgerätes, welches aus den gemessenen LAB-Werten eine Zahnfarbe gemittelt berechnete.

Weiterhin muss bei in-vitro-Studien berücksichtigt werden, dass die Laborbedingungen (beispielsweise tage- oder wochenlange permanente Lagerung in gefärbten Lösungen oder das Bestrahlen des Materials mit UV-Strahlen), die zu einer Verdunkelung der temporären Materialien geführt haben, nur schwierig auf eine in-vivo-Situation übertragbar sind, da diese Bedingungen unter realen Umständen nicht umsetzbar sind.

In dieser in-vivo-Studie konnten ebenfalls Verfärbungen des temporären Materials beobachtet werden. Dabei unterscheiden sich die Ergebnisse bei den Messungen von oral und vestibulär nur marginal. So ist sowohl bei den Messungen von oral als auch von vestibulär in vielen Fällen eine Verfärbung von D2 nach D3 festzustellen. Allerdings weisen überdurchschnittlich viele temporäre Versorgungen (88%) schon bei der Anfangsmessung den Wert D2 auf, obwohl dieser Farbton als temporäres Material keine Verwendung fand, vielmehr wurde der überwiegende Teil der temporären Versorgungen im Farbton A3 hergestellt. In diesem Fall liegt die Vermutung nahe, dass es sich um einen systemischen Messfehler des ShadeVision-Gerätes handelt. Dazu passen die Aussagen von *Robinson et al.*, die in ihrer Studie festgestellt haben, dass Farbe auch innerhalb einer Farbnummer, z.B. A3, variieren kann (55). In diesem Zusammenhang stellten *Donahue et al.* ebenfalls fest, dass Zahnfarben nicht in ein festes Farbschema passen (15).

Betrachtet man die absoluten Farbwertdifferenzen, ähneln sich die Ergebnisse für die Messungen von oral und vestibulär. So ist in jeweils gut einem Drittel der Fälle (oral: 34,3%, vestibulär: 34,8%) keine Veränderung der Farbe feststellbar. Dementsprechend sind bei knapp zwei Drittel der temporären Versorgungen Farbveränderungen messbar, diese zeigen eine deutliche Verdunklung der Materialien (oral: 92,2% dunkler, 7,8% heller; vestibulär: 96,1% dunkler, 3,9% heller). Diese Beobachtung deckt sich auch mit anderen Studien, die zeigen, dass temporäre Materialien nach einer bestimmten Zeit eine dunklere Farbe aufweisen (42, 45). So fanden *Koumjian et al.* in einer in-vivo-Studie heraus, dass innerhalb einer Zeitspanne von bis zu fünf Wochen klinisch keine relevanten Verfärbungen festzustellen waren (42).

Die statistische Auswertung der Verfärbung der temporären Versorgung zeigte keine statistische Signifikanz, da zu viele verschiedene Variablen, die alle Einfluss auf die Verfärbung hatten, vorlagen.

Es zeigte sich, dass an den temporären Versorgungen klinisch eine vermehrte Plaqueanlagerung feststellbar ist. In ihrer Untersuchung konnten auch *Luthard et al.* eine erhöhte Anlagerung von Plaque an temporären Versorgungen feststellen. In der selben Studie wurde praktisch an der gesamten temporären Versorgung Plaque nachgewiesen werden, woraus die Autoren schlussfolgerten, dass die Plaqueanlagerung von den Materialeigenschaften und nicht von der Politur abhängig ist (47). Dem gegenüber stehen die Aussagen von *Sen et al.*, die herausfanden, dass mit verringerter Oberflächenrauigkeit die Plaqueanlagerung abnimmt (58) und von *Yaman et al.*, dass sich auf einer polierten Oberfläche weniger Plaque anlagert, dies hat den Autoren zufolge aber keinen Einfluss auf die Reduzierung von Farbveränderungen (73).

In dieser Studie hatten die temporären Materialien eine durchschnittliche Mundverweildauer von 23,9 Tagen. Dabei ist zu beachten, dass die temporären Versorgungen in der Regel ihr „Überleben“ nicht dadurch beenden, dass sie einen Defekt aufweisen, sondern dadurch, dass sie durch die definitive Versorgung ersetzt werden. Die Mundverweildauer ist auch von weiteren Rahmenbedingungen abhängig, so ist in der Praxis in der Regel die Tragedauer von temporären Versorgungen kürzer als in den studentischen Kursen.

Mit der temporären Versorgung soll dem Patienten auf der einen Seite eine möglichst kosmetisch und ästhetisch befriedigende Versorgung angeboten werden, dem gegenüber steht das Interesse des behandelnden Zahnarztes, den Patienten mit dem definitiven Zahnersatz versorgen zu wollen. Aus diesem Blickwinkel kann die klinische Problematik der Verfärbungen und die Relevanz temporärer Versorgungen als möglicherweise gar nicht so groß und von untergeordneter Natur eingeordnet werden.

### **6.3 Schlussfolgerungen**

Unter Berücksichtigung der vorliegenden Untersuchungsergebnisse können folgende Schlussfolgerungen gezogen werden.

Bei der Fragestellung nach der Verfärbung der temporären Materialien in Abhängigkeit von Oberflächenbearbeitung, Mundverweildauer, Mundhygiene und Ernährungsgewohnheiten der Patienten konnte klinisch in vielen Fällen eine Verdunklung des Materials festgestellt werden. Ein maßgeblicher Einfluss der Rahmenbedingungen konnte statistisch allerdings nicht festge-

stellt werden. Dieses Problem ist in vivo möglicherweise weniger relevant, da anders als in vitro andere, praxisnahe Bedingungen herrschen.

Das Farbmesssystem ShadeVision ist nicht für extraorale Messungen konzipiert. Dennoch kann festgestellt werden, dass unter bestimmten Voraussetzungen die Messergebnisse vergleichbar sind, wenngleich die gemessenen Farbwerte in nur wenigen Fällen mit zu erwartenden Werten übereinstimmen. Da es sich jedoch um relative Messungen handelt, die die Tendenz zeigen, dass die temporären Materialien nach dem Tragen dunkler sind, kann man das elektronische Farbmesssystem mit Einschränkungen für reproduzierbare Ergebnisse nutzen.

## 7 Zusammenfassung

### 7.1 Zusammenfassung

Ziel dieser Untersuchung war die Beantwortung der Frage, inwieweit Verfärbungen temporärer Kronen- und Brückenmaterialien in Abhängigkeit von Oberflächenbearbeitung, Mundverweildauer, Mundhygiene und Ernährungsgewohnheiten der Patienten festzustellen sind. Zudem sollte die Fragestellung geklärt werden, ob mit Hilfe eines elektronischen Farbmessgerätes reproduzierbare Ergebnisse bei der Farbbestimmung temporärer Materialien erzielt werden können.

In dieser Studie wurden die temporären Versorgungen nach Präparation eines oder mehrerer Zähne von den jeweils behandelnden Studenten gefertigt und dessen Farbe vor dem Eingliedern mittels eines elektronischen Farbmesssystems von vestibulär und oral kolorimetrisch bestimmt. Am Ende der Tragedauer erfolgten die zweite Messung zur Farbbestimmung der temporären Versorgung sowie die Bestimmung des Plaque-Index QHI der temporären Versorgungen und eines Kontrollzahnes. Gingen temporäre Versorgungen vorzeitig verloren, zu Bruch oder mussten aus anderen Gründen neu angefertigt werden, erfolgte die erneute Herstellung und Messung nach dem gleichen Schema.

In gut 2/3 der Fälle konnte klinisch eine Verfärbung der temporären Versorgung festgestellt werden, hierbei zum größten Teil eine Verdunklung des Materials. Dennoch sind die Ergebnisse statistisch nicht signifikant.

Das elektronische Farbmesssystem lieferte andere Farbwerte als diejenigen, die aufgrund der Herstellerangabe hätten angezeigt werden sollen. Der überwiegende Teil der temporären Versorgungen wurde in der Farbe A3 hergestellt, das Farbmesssystem ermittelte jedoch zum überwiegenden Teil die Farbe D2 als Ausgangsfarbe. Dennoch ist in vielen Fällen eine Verdunkelung der Materialien von D2 nach D3 gemessen worden.

Diese Studie konnte statistisch keinen Zusammenhang zwischen Oberflächenbearbeitung, Mundverweildauer, Mundhygiene, Ernährungsgewohnheiten und Lokalisation der temporären Versorgung feststellen. Daher sollte die hier klinische Beobachtung der Verfärbung der temporären Versorgungen in weiteren Studien genauer untersucht werden.

## 7.2 Summary

The aim of this study has been to discover the extent to which discoloration in temporary crown and bridge materials can be observed as a result of surface treatment, the length of time in the mouth, oral hygiene and the patient's nutritional habits. Clarification was also sought as to whether reproducible results can be obtained using an electronic colorimeter in the determination of color of temporary materials.

In this study, temporary restorations were created by the students after preparation of one or more teeth and vestibular and oral colorimetric determination carried out on them prior to insertion, using an electronic color measuring system. At the end of the wearing time, a second measurement was taken to determine the color of the temporary restorations as well as to determine the QHI plaque index of the temporary restorations, and of a control tooth. Where temporary restorations were lost prematurely broke or had to be remade for other reasons, refabrication and measurement were carried out the same way.

In just over 2/3 of cases, discoloration of the temporary restoration was clinically found, for the most part, a darkening of the material. Nevertheless, the results were not statistically significant.

The electronic color measurement system yielded color values other than those which, on the basis of the manufacturer's information, should have been displayed. The majority of the temporary restorations were created in the color A3. The color measure system identified for the most part the color D2 as the initial color. However, in many cases, a darkening of the materials from D2 to D3 was measured.

This study was not statistically able to determine any association between surface finish, the length of the time in the mouth, oral hygiene, nutritional habits and the location of the temporary restorations. Therefore, the clinical observation of discoloration of the temporary restorations here should be investigated more accurately in future studies.

## 8 Literaturverzeichnis

1. **Amet EM und Phinney TP.** Fixed provisional restorations for extended prosthodontic treatment. *J Oral Implantol* 21: 201-206, 1995.
2. **Bäuerle T und Lange R.** Der Einfluß des Lichtes bei der Farbwahl. *Quintessenz* 33: 2150-2180, 1981.
3. **Baumann MA und Schifferdecker B.** Farbbestimmung bei Dentalkeramiken. *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 104: 423-429, 1994.
4. **Borchers L, Tavassol F, und Tschernitscheck H.** Surface quality achieved by polishing and by varnishing of temporary crown and fixed denture resins. *J Prosthet Dent* 82: 550-556, 1999.
6. **Brockhaus-Enzyklopädie.** *Bibliographisches Institut & F.A. Brockhaus, Mannheim* 21. Ausg.: 767-769, 2006
7. **Buchalla W, Attin T, Hilgers RD, und Hellwig E.** The effect of water storage and light exposure on the color and translucency of a hybrid and a microfilled composite. *J Prosthet Dent* 87: 264-270, 2002.
8. **Burgt TPvd, Bosch JJ, Borsboom PCF, und Kortsmit WJPM.** A comparison of new conventional methodes for quantivication of tooth color. *J Prosthet Dent* 63: 155-162, 1990.
9. **Burke FJT, Murray MC, und Shortall ACC.** Trends in indirect dentistry: 6. Provisional restorations, more than just a temporary. *Dental Update* 32: 443-452, 2005.
10. **Clark EB.** The color problems in dentistry. *Dent Dig* 37: 499-509, 1931.
11. **Crispin BJ und Caputo AA.** Color stability of temporary resorative materials. *J Prosthet Dent* 42: 27-33, 1979.
12. **Diaz-Arnold AM, Dunne JT, und Jones AH.** Microhardness of provisional fixed prosthodontic materials. *J Prosthet Dent* 82: 525-528, 1999.

13. **Dietschi D, Ardu S, und Krejci I.** Übertragung der natürlichen Zahnfarbe auf direkte Kompositrestaurationen - ein neues Farbgebungskonzept. *Quintessenz* 57: 241-251, 2006.
14. **Dietschi D, Campanile G, Holz J, und Meyer JM.** Comparison of the color stability of ten new-generation composites: An in vitro study. *Dent Mater* 10: 353-362, 1994.
15. **Donahue JL, Goodkind RJ, Schwabacher WB, und Aeppli DP.** Shade color discrimination my men and women. *J Prosthet Dent* 65: 699-703, 1991.
16. **Doray PG, Li D, und Powers JM.** Color stability of provisional restorative materials after accelerated aging. *J Prosthodont* 10: 212-216, 2001.
17. **Doray PG, Wang X, Powers JM, und Burgess JO.** Accelerated aging affects color stability of provisional restorative materials. *J Prosthodont* 6: 183-188, 1997.
18. **Dunn WJ.** Esthetics: Patients perceptions of dental attractiveness. *J Prosthodont* 5: 166-171, 1996.
19. **Eldiwany M, Friedl KH, und Powers JM.** Color stability of light-cured and post-cured composites. *Am J Dent* 8: 179-181, 1995.
20. **Faber FJ.** Die Bestimmung der Zahnfarbe - Stellungnahme der DGZMK. *Dtsch Zahnärztl Z* 57: 8-8, 2002.
21. **Faber FJ und Schlegel G.** Einfluß von Farbtüchtigkeit, Geschlecht und Beruf auf die Zahnfarbauswahl. *Dtsch Zahnärztl Z* 54: 281-283, 1999.
22. **Freesmeyer WB.** Klinische Prothetik - Festsitzender und implantatgetragener Zahnersatz (Band 1). *Hüthig-Verlag*: 116-129, 1995.
23. **Galindo D, Soltys JL, und Graser GN.** Long-term reinforced fixed provisional restorations. *J Prosthet Dent* 79: 698-701, 1998.
24. **Gantantzopoulou M, Kakaboura A, und Vougiouklakis G.** Colour stability of tooth-coloured restorative materials. *Eur J Prosthodont Restor Dent* 13: 51-56, 2005.

25. **Gegauff AG und Pryor HG.** Fracture toughness of provisional resins for fixed prosthodontics. *J Prosthet Dent* 58: 23-29, 1987.
26. **Gegauff AG und Wilkerson JJ.** Fracture toughness testing of visible light- and chemical-initiated provisional restoration resins. *Int J Prosthodont* 8: 62-68, 1995.
27. **Hahn R und Löst C.** Experimentelle Festigkeitsbestimmung sprödharter Restaura-tionswerkstoffe. *Dtsch Zahnärztl Z* 48: 484-487, 1993.
28. **Handel G.** Langzeitprovisorien - Stellungnahme der DGZMK. *Dtsch Zahnärztl Z* 57: 450-450, 2002.
29. **Haselton DR, Diaz-Arnold AA, und Dawson DV.** Color stability of provisional crown and fixed partial denture resins. *J Prosthet Dent* 93: 70-75, 2005.
30. **Haselton DR, Diaz-Arnold AA, und Dawson DV.** Effect of storage solution on surface roughness of provisional crown and fixed partial denture materials. *J Prosthodont* 13: 227-232, 2004.
31. **Hazelton LR, Nicholls JI, Brudvik JS, und Daly CH.** Influence of reinforce-ment design on the loss of marginal seal of provisional fixed partial dentures. *Int J Prosthodont* 8: 572-579, 1995.
32. **Horn HJ, Bulan-Brady J, und Hicks ML.** Sphere spectrophotometer versus human evaluation of tooth shade *J Endod* 24: 786-790, 1998.
33. **Hugo B, Witzel T, und Klaiber B.** Comparison of in vivo visual and computer-aided tooth shade determination. *Clin Oral Investig* 9: 244-250, 2005.
34. **Inokoshi S, Burrow MF, Kataumi M, Yamada T, und Takatsu T.** Opacity and color changes of tooth-colored restorative materials. *Oper Dent* 21: 73-80, 1996.
35. **Ireland MF, Dixon DL, Breeding LC, und Ramp MH.** In vitro mechanical property comparison of four resins used for fabrication of provisional fixed resto-rations. *J Prosthet Dent* 80: 158-162, 1998.
36. **Janda R.** Chemie und Physik zahnärztlicher Werkstoffe. In: Kappert HF, Eichner K (Hrsg.). Zahnärztliche Werkstoffe und ihre Verarbeitung. Grundlagen und Ver-arbeitung. *Hüthing, Heidelberg* 6: 173-210, 1996.

37. **Jorgensen MW und Goodkind RJ.** Spectrophotometric study of five porcelain shades relative to the dimensions of color, porcelain thickness and repeated fillings. *J Prosthet Dent* 42: 96-105, 1979.
38. **Kaplan BA, Goldstein GR, Vijayaraghavan TV, und Nelson IK.** The effect of three polishing systems on the surface roughness of four hybrid composites: a profilometric and scanning electron microscopy study. *J Prosthet Dent* 76: 34-38, 1996.
39. **Kappert HF und Bregler C.** Objektive Farbbestimmung von Farbringzähnen und natürlichen Zähnen. *Quintessenz Zahntechnik* 18: 1279-1301, 1992.
40. **Khokhar ZA, Razzoog ME, und Yaman P.** Color stability of restorative resins. *Quintessence Int* 22: 733-737, 1991.
41. **Körber K.** Zahnärztliche Prothetik. *Thieme, Stuttgart, New York* 4. Auflage: 414-501, 1995.
42. **Koumjian JH, Firtell DN, und Nimmo A.** Color stability of provisional materials in vivo. *J Prosthet Dent* 65: 740-742, 1991.
43. **Koumjian JH und Nimmo A.** Evaluation of fracture resistance of resins used for provisional restorations. *J Prosthet Dent* 64: 654-657, 1990.
44. **Lang R, Rosentritt M, und Handel G.** Bruchfestigkeit von dreigliedrigen Brückenprovisorien - eine in-vitro-Studie. *Dtsch Zahnärztl Z* 60: 665-668, 2005.
45. **Lang R, Rosentritt M, Leibrok A, Behr M, und Handel G.** Color stability of provisional crown and bridge materials. *Br Dent J* 185: 468-471, 1998.
46. **Leibrock A, Rosentritt M, Lang R, Behr M, und Handel G.** Colour stability of visible light-curing hybrid composites. *Eur J Prosthodont Restor Dent* 5: 125-130, 1997.
47. **Luthardt RG, Stossel M, Hinz M, und Vollandt R.** Clinical performance and periodontal outcome of temporary crowns and fixed partial dentures: A randomized clinical trial. *J Prosthet Dent* 83: 32-39, 2000.
48. **Mues S.** Oberflächenvergütung von provisorischen Kronen und Brücken. *Quintessenz* 59: 371-377, 2008.

49. **Osman YI und Owen CP.** Flexural strength of provisional restorative materials. *J Prosthet Dent* 70: 94-96, 1993.
50. **Ozkan Y, Arikan A, Akalin B, und Arda T.** A study to assess the colour stability of acetal resins subject to themocycling. *Eur J Prosthodont Restor Dent* 13: 10-14, 2005.
51. **Patel SB, Gordan VV, Barrett AA, und Shen C.** The effect of surface finishing and storage solutions on the color stability of resin-based composites. *J Am Dent Assoc* 135: 587-594, 2004.
52. **Powell DB, Nichills JI, Youdelis RA, und Strygler H.** A comparison of wire and Kevlar reinforced provisional restaurations. *J Prosthodont* 7: 81-89, 1994.
53. **Powers JM, Fan PL, und Raptis CN.** Colour stability of new composite restorative materials under accelerated ageing. *J Dent Res* 59-59, 1980.
54. **Quirynen M und Bollen CM.** The influence of surface roughness and surfacefree energy on supra- and subgingival plaque formation in man. *J Clin Periodontol* 22: 1-14, 1995.
55. **Robinson FG, Haywood VB, und Myers M.** Effect of 10 percent carbamide peroxide on colour of provisional restoration materials. *J Am Dent Assoc* 128: 727-731, 1997.
56. **Ruyter IE, Nilner K, und Moller B.** Color stability of dental composite resin materials for crown and bridge veneers. *Dental Materials* 3: 246-251, 1987.
57. **Schwabacker WB und Goodkind RJ.** Three-dimensional coordinates of natural teeth compared with three shade guides. *J Prosthet Dent* 64: 425-431, 1990.
58. **Sen D, Goller G, und Issever H.** The effect of two polishing pastes on the surface roughness of bis-acryl composite and methacrylate-based resins. *J Prosthet Dent* 88: 527-532, 2002.
59. **Setz J und Engel E.** Clinical studies of discoloration of veneering resins. *Dtsch Zahnärztl Z* 49: 735-758, 1994.
60. **Sproul RC.** Color matching in dentistry. Part I. The threedimensional nature of color. *J Prosthet Dent* 29: 416-424, 1973a.

61. **Sproul RC.** Color matching in dentistry. Part II. Practical applications of the organisation of color. *J Prosthet Dent* 29: 556-566, 1973b.
62. **Sproul RC.** Color matching in dentistry. Part III. Color control. *J Prosthet Dent* 31: 146-154, 1974.
63. **Stoll R, Jablonski-Momeni A, und Stacchniss V.** Die Verwendung der Farbskalen Vitapan Classical und Vita Bleachguide 3D-Master zur Farbkontrolle beim Bleichen vitaler Zähne. *Dtsch Zahnärztl Z* 63: 53-59, 2008.
64. **Uchida H, Vaidyanathan J, Viswanadhan T, und Vaidyanathan TK.** Color stability of dental composites as a function of shade. *J Prosthet Dent* 79: 372-377, 1998.
65. **Uhl A, Mills RW, Rzanny AE, und Jandt KD.** Time dependence of composite shrinkage using halogen and LED light curing. *Dent Mater* 21: 278-286, 2005.
66. **Um CM und Ruyter IE.** Staining of resin-based veneering materials with coffee and tea. *Quintessence Int* 22: 377-386, 1991.
67. **Vahidi F.** The provisional restoration. *Dent Clin North Am* 31: 363-381, 1987.
68. **Wang RL, Moore BK, Goodacre CJ, Swartz ML, und Andres CJ.** A comparison of resins for fabricating provisional fixed restorations. *Int J Prosthodont* 2: 173-184, 1989.
69. **Wee AG, Kang EY, Johnston WM, und Seghi RR.** Evaluating porcelain color match of different porcelain shade-matching systems. *J Esthet Dent* 12: 271-280, 2000.
70. **Weitman RT und Eames WB.** Plaque accumulation on composite surfaces after various finishing procedures. *J Am Dent Assoc* 91: 101-106, 1975.
71. **Wendl B, Droschel H, und W.Kern.** Verbessern verschiedene Arten der Lichtpolymerisation die Qualität des Klebers? *Dtsch Zahnärztl Z* 58: 180-182, 2003.
72. **X-Rite.** Herstellerinformation: ShadeVision System - Getting Started. *X-Rite Corporate Headquarters, Grand Rapids, Michigan, USA*, 1-32, 2008
73. **Yaman P, Razzoog M, und Brandau HE.** In vitro color stability of provisional restorations. *Am J Dent* 2: 48-50, 1989.

74. **Yannikakis SA, Zissis AJ, Polyzois GL, und Caroni C.** Color stability of provisional resin restorative materials. *J Prosthet Dent* 80: 533-539, 1998.
75. **Youdelis RA und Faucher R.** Provisional restorations: An integrated approach to periodontics and restorative dentistry. *Dent Clin North Am* 24: 285-303, 1980.

## 9 Anhang

Charge	Farbe	MHD	Charge	Farbe	MHD
491384	A1	2006/12	600268	A3	2007/12
581089	A3	2007/10	620926	A2	2008/03
581868	A2	2007/11	621439	A3	2008/04
581869	A3	2007/11	630818	A2	2008/05
591843	A1	2007/12	631392	A3	2008/05
600091	A2	2007/12			

Tab. 9.1: Verwendete Chargen von „Structur Premium“ (MHD = Mindesthaltbarkeitsdatum)

QHI-Grad	Plaqueausdehnung
0	Keine Plaque feststellbar
1	Vereinzelte Plaqueinseln
2	Durchgehende Plaquelinie entlang des Gingivalsaumes
3	Zervikales Zahndrittel plaquebedeckt
4	Zwei Drittel der Zahnoberfläche plaquebedeckt
5	Mehr als zwei Drittel der Zahnoberfläche plaquebedeckt

Tab. 9.2: Plaque-Index nach Quigley und Hein (QHI)



Abb.9.1: Eingabemaske Dokumentationsbogen - Startseite

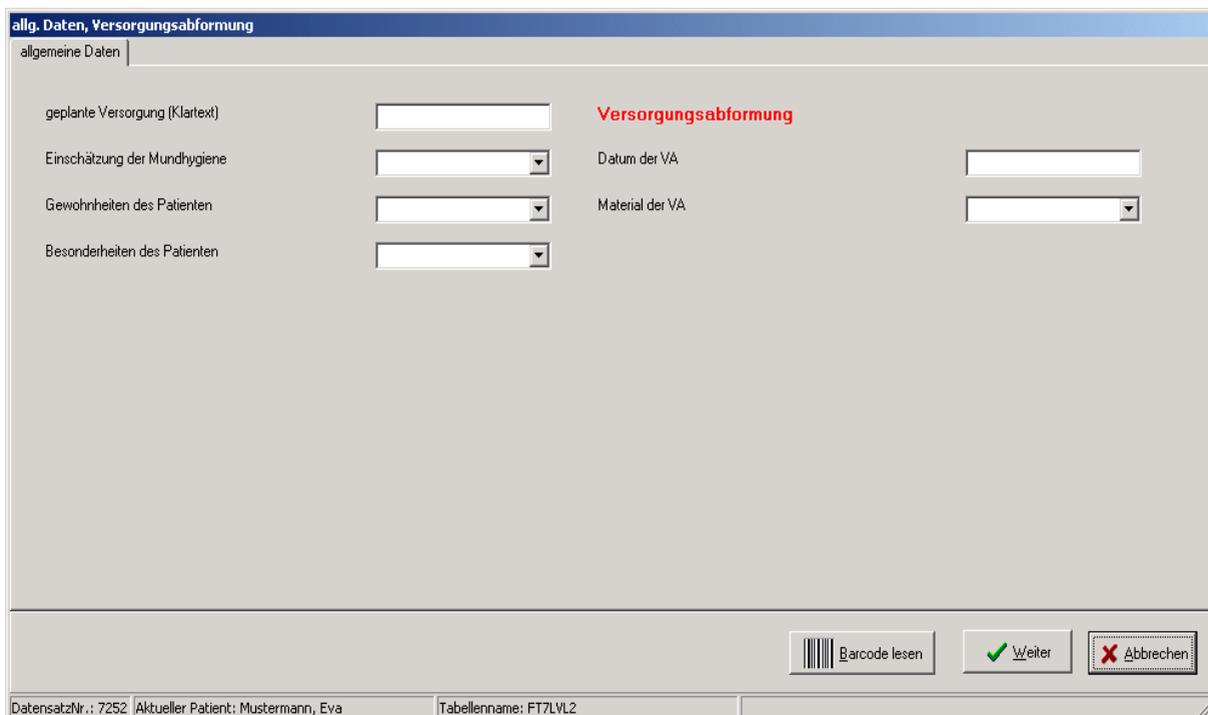
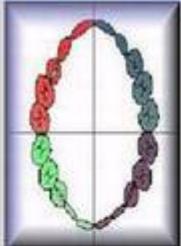


Abb. 9.2: Eingabemaske Dokumentationsbogen – Gewohnheiten des Patienten

**Lokalisation der Provisorien**

**Multizentrische Dokumentation**



Provisorium Nr.

18	17	16	15	14	13	12	11	21	22	23	24	25	26	27	28
48	47	46	45	44	43	42	41	31	32	33	34	35	36	37	38

Provisorium Nr.

DatensatzNr.: 7252 | Aktueller Patient: Mustermann, Eva | Tabellennamen: FT1LVL3

Abb. 9.3: Eingabemaske Dokumentationsbogen – Lokalisation der temporären Versorgung

**Provisorium 1 bis 5**

Provisorium 1

Provisorium auf Zahn  **Farbbestimmung ShadeVision (NICHT AUSFÜLLEN!)**

Vorbehandlung  Datum der Farbbestimmung

**Structur Premium** Datei Name der Farbbestimmung

Chargennummer  Farbbestimmung vest

expiry Date  Farbbestimmung oral

Farbe (Aufdruck Kartusche)

**Ausarbeitung**

kreuzverzahnte HM-Fräse

Silikonpolierer

Bimsstein, KMG

DatensatzNr.: 7252 | Aktueller Patient: Mustermann, Eva | Tabellennamen: FT1LVL7

Abb.9.4: Eingabemaske Dokumentationsbogen – Informationen zur temporären Versorgung

**Therapie am Provisorium1 bis 5**

Provisorium 1

Provisorium auf Zahn

Datum der Sitzung

**Zustand oder Therapie**

Provisorium intakt, nicht entfernt

Neuanfertigung (Farbe)

Neuanfertigung (Grund)

Einsetzement

def. Versorgung eingegliedert

Barcode lesen

DatensatzNr.: 7252 | Aktueller Patient: Mustermann, Eva | Tabellennamen: FT7LVL10

Abb. 9.5: Eingabemaske Dokumentationsbogen – Therapie temporäre Versorgung

**Endbefund 1 bis 5**

Provisorium 1

Provisorium auf Zahn

Provisorium

QHI Provisorium

**Farbbestimmung ShadeVision (NICHT AUSFÜLLEN)**

Datum der Farbbestimmung

Dateiname der Farbbestimmung

Farbbestimmung vest

Farbbestimmung oral

**Plaqueeinlagerung (NICHT AUSFÜLLEN)**

Kontrollzahn

QHI Kontrollzahn

**Einschätzung des Patienten**

Halt des Provisoriums

Zahnpflichtigkeit festgestellt

Aufbisempfindlichkeit festgestellt

Ästhetik des Provisoriums

Farbe des Provisoriums

selbst Verfärbungen festgestellt

Barcode lesen

DatensatzNr.: 7252 | Aktueller Patient: Mustermann, Eva | Tabellennamen: FT7LVL13

Abb.9.6: Eingabemaske Dokumentationsbogen – Farbbestimmung und QHI

In der folgenden Tabelle sind Angaben der Patienten zur Mundhygiene, zu deren Essens- und Genussgewohnheiten sowie zu deren zahnmedizinischen Besonderheiten zusammengefasst.

Art	Anzahl Patienten
keine Beläge	7, 9%
nur weiche Beläge	50,0%
nur harte Beläge	2,6%
weiche und harte Beläge	39,5%
Kaffeetrinker	78,4%
Teetrinker	40,5%
Weintrinker	43,2%
Raucher	35,1%
Abrasionsgebiss	15,6%
Kariöse Defekte	44,7%
Zahnverfärbungen	34,2%
Parafunktionen	7,9%
Bruxismus	0,0%

Tab. 9.3: Mundhygiene, Essens- und Genussgewohnheiten und zahnmedizinischen Besonderheiten der Patienten (n=73; Mehrfachnennungen möglich)

## 10 Erklärung

„Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig und ohne unzulässige Hilfe oder Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe. Alle Textstellen, die wörtlich oder sinngemäß aus veröffentlichten oder nichtveröffentlichten Schriften entnommen sind, und alle Angaben, die auf mündlichen Aussagen beruhen, sind als solche kenntlich gemacht. Bei den von mir durchgeführten und in der Dissertation erwähnten Untersuchungen habe ich die Grundsätze guter wissenschaftlicher Praxis, wie sie in der „Satzung der Justus-Liebig-Universität Gießen zur Sicherung guter wissenschaftlicher Praxis“ niedergelegt sind, eingehalten sowie ethische und datenschutzrechtliche Grundsätze befolgt. Ich versichere, dass Dritte von mir weder unmittelbar noch mittelbar geldwerte Leistungen für Arbeiten erhalten haben, die im Zusammenhang mit dem Inhalt der vorliegenden Dissertation stehen, oder habe diese nachstehend spezifiziert. Die vorliegende Arbeit wurde weder im Inland noch im Ausland in gleicher oder ähnlicher Form einer anderen Prüfungsbehörde zum Zweck einer Promotion oder eines anderen Prüfungsverfahrens vorgelegt. Alles aus anderen Quellen und von anderen Personen übernommene Material, das in der Arbeit verwendet wurde oder auf das direkt Bezug genommen wird, wurde als solches kenntlich gemacht. Insbesondere wurden alle Personen genannt, die direkt und indirekt an der Entstehung der vorliegenden Arbeit beteiligt waren. Mit der Prüfung meiner Arbeit durch eine Plagiatserkennungssoftware bzw. ein internetbasiertes Softwareprogramm erkläre ich mich einverstanden.“

---

Ort, Datum

---

Unterschrift

## 11 Danksagung

Herrn Dr. habil. Markus Balkenhol möchte ich an dieser Stelle für die Überlassung des Themas und die Unterstützung während der Verwirklichung der vorliegenden Arbeit danken.

Mein besonderer Dank gilt dem Direktor der Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik der Universität Gießen, Herrn Prof. Dr. Bernd Wöstmann für stets sehr freundliche und kompetente weiterführende Betreuung bei der Fertigstellung dieser Arbeit sowie für die zu jeder Zeit sehr hilfsbereite Betreuung und Unterstützung meiner Arbeit, ohne die mir die Fertigstellung dieser Dissertation nicht möglich gewesen wäre.

Des Weiteren gilt mein Dank Herrn Dipl.-Ing. Michael Köhl, der mich in allen Fragen der EDV immer unterstützt hat.

Weiterhin möchte ich mich bei Herrn Dr. Bödecker und seinem Team, besonders bei Frau Scheibelhut bedanken, die sich unermüdlich der statistischen Auswertung und mathematischen Bearbeitung der Ergebnisse meiner Arbeit gewidmet haben.

Ich danke auch allen Patienten und Studenten, die an der Studie teilgenommen haben.

Zu guter Letzt gilt mein ganz besonderer Dank meiner Frau Stefanie und meiner Familie sowie allen Freunden, die mich nicht nur bei der Erstellung dieser Arbeit sondern auch während des gesamten Studiums in jeder erdenklichen Weise unterstützt und motiviert haben.

**Der Lebenslauf wurde aus der elektronischen  
Version der Arbeit entfernt.**

**The curriculum vitae was removed from the  
electronic version of the paper.**