

Farbbeständigkeit temporärer Kronen- und Brückenmaterialien

Inaugural - Dissertation

zur Erlangung des Grades eines Doktors der Zahnheilkunde

des Fachbereichs Medizin

der Justus-Liebig-Universität Gießen

vorgelegt von [Schierz, Sandra](#)

aus [Meiningen, Rhönblick - Gerthausen](#)

Gießen [2010](#)

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

Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik

des Universitätsklinikums Gießen und Marburg GmbH

Standort Gießen

Direktor: Prof. Dr. B. Wöstmann

Gutachter: [Prof. Dr. B. Wöstmann](#)

Gutachter: [Prof. Dr. U. Lotzmann](#)

Tag der Disputation: 12.04.2011

Meiner Familie gewidmet

Inhaltsverzeichnis

1	EINLEITUNG.....	5
2	ZIEL DER ARBEIT	6
3	EIGENSCHAFTEN TEMPORÄRER K&B-WERKSTOFFE	7
3.1	Aufgaben von und Anforderungen an temporäre Versorgungen	7
3.1.1	Aufgaben von temporären K&B-Versorgungen	7
3.1.2	Klinische Anforderungen an eine temporäre K&B-Versorgung.....	8
3.1.3	Werkstoffkundliche und verarbeitungstechnische Anforderungen an temporäre K&B-Werkstoffe	11
3.2	Zusammensetzung der temporären K&B-Werkstoffe	13
3.2.1	Pulver/Flüssigkeitssysteme auf der Basis von Mono-Methacrylaten	13
3.2.2	Temporäre K&B-Werkstoffe auf der Basis von Composites.....	15
4	GRUNDLAGEN FARBE UND FARBMETRIK.....	16
4.1	Farbe	16
4.2	Farbmetrik.....	17
4.2.1	Das xyz-Farbsystem	17
4.2.2	Das Munsell Color System.....	18
4.2.3	Das CIELAB-System	19
4.2.4	Das LCh-System	20
5	VERFÄRBUNGEN TEMPORÄRER K&B-WERKSTOFFE	21
5.1	Verfärbungen	21
5.1.1	Endogene Verfärbungen.....	21
5.1.2	Exogene Verfärbungen (Oberflächenverfärbungen)	22

5.2 Farbstabilität temporärer K&B-Materialien	22
5.2.1 Zusammenfassung	24
6 MATERIAL UND METHODE	27
6.1 Materialien	27
6.2 Methodik	29
6.2.1 Übersicht	29
6.2.2 Prüfkörperherstellung	29
6.2.3 Oberflächenbearbeitung	32
6.2.4 Anordnung der Probekörper	32
6.2.5 Lagerung der Probekörper	33
6.2.6 Lagerungszeiten und Farbmessung	33
6.2.7 Reproduzierbarkeit des Farbmessgerätes DSG 4 Plus®	36
6.3 Wahrnehmungsgrenzen von ΔE -Werten	37
6.4 Statistische Auswertung	38
6.4.1 Datendesign	38
6.4.2 Varianzanalyse	39
6.4.3 Übersichtsdarstellung der Farbänderung	39
7 ERGEBNISSE	40
7.1 Übersichtsdarstellung der Farbänderung in Abhängigkeit vom temporären K&B-Material und in Abhängigkeit von der Farblösung	40
7.1.1 Verwendete Farbdifferenz	40
7.1.2 Farbänderung der temporären K&B-Materialien	40
7.1.3 Farbänderung durch verfärbende Lösungen	44
7.2 Farbzustand nach 4 h, 72 h und nach 168 h Thermowechselbelastung	49

7.2.1 Einfluss von Material, Oberfläche und Farblösung	49
7.2.2 Unterschiede des Farbzustandes nach 4 h	50
7.2.3 Unterschiede des Farbzustandes nach 72 h	53
7.2.4 Unterschiede des Farbzustandes nach 168 h Thermowechselbelastung	54
7.3 Farbveränderung infolge Thermowechselbelastung.....	55
7.3.1 Einfluss von Material und Farblösung	55
7.3.2 Farbveränderung.....	55
8 DISKUSSION.....	57
8.1 Material und Methode.....	57
8.1.1 Materialauswahl	57
8.1.2 Methodik	57
8.2 Diskussion der Ergebnisse	62
8.2.1 Einfluss des Lagermediums	68
8.2.2 Einfluss der Oberfläche	69
8.3 Schlussfolgerung.....	69
9 ZUSAMMENFASSUNG	71
9.1 Zusammenfassung	71
9.2 Summary.....	72
10 LITERATURVERZEICHNIS.....	73
11 ANHANG.....	81
11.1 Codierung der Prüfkörper	81
11.2 Tabellen der Ergebnisauswertung.....	81
11.2.1 Regressionsanalyse des Farbzustandes nach 4h	81

11.2.2 Regressionsanalyse des Farbzustandes nach 72h	82
11.2.3 Regressionsanalyse des Farbzustandes nach 168h Thermowechselbelastung	82
11.2.4 Regressionsanalyse der Farbveränderung infolge Thermowechselbelastung	82
12 ERKLÄRUNG	83
13 DANKSAGUNG.....	84

1 Einleitung

Bei der prothetischen Versorgung mit indirekten Restaurationen kommt der temporären Versorgung große Bedeutung zu.^{8, 15, 39, 79, 83, 119} Mit ihr wird der präparierte Zahn bis zur Eingliederung des definitiven Zahnersatzes versorgt.^{92, 127, 130} Dabei ist der Schutz der beschliffenen Zahnhartsubstanz bzw. der Pulpa vor thermischen, mechanischen und chemischen Noxen das Hauptziel einer temporären Versorgung. Weiterhin sind Ziele einer temporären Restauration die Stabilisation der Zahnhartsubstanz, die Sicherung der Kaufunktion und der phonetischen Funktion sowie die Wiederherstellung des ästhetischen Erscheinungsbildes.^{1, 7, 15, 64, 67, 75, 78}

Während der Tragedauer einer temporären Restauration kann es unter den vielfältigen Einflüssen in der Mundhöhle (z.B. Nahrung, Speichel, Temperaturwechsel) zu Verfärbungen von temporären K&B-Werkstoffen kommen. Verfärbte Restaurationen führen bei Patienten nicht selten zu einer Unzufriedenheit und macht immer wieder die Erneuerungen der temporären Versorgung notwendig.¹¹³

Das Ausmaß der Farbveränderung an temporären K&B-Materialien kann durch unterschiedliche Faktoren bedingt sein. Dazu gehören eine unvollständige Polymerisation des Werkstoffes,^{35, 36, 89, 125} Wassereinlagerung in das temporäre K&B-Material,^{28, 101} schlechte Mundhygiene^{6, 10} und die Oberflächenbeschaffenheit der temporären Versorgung.^{47, 51, 65, 109, 115, 123}

Eine Reihe von Studien hat sich mit der Verfärbung von temporären K&B-Werkstoffen beschäftigt. Dabei wurde die Farbbeständigkeit entweder in einem In-vivo-Versuch^{73, 74, 110, 111} oder in einem Laborversuch^{25, 76, 99, 108} überprüft. In-vitro-Untersuchungen berücksichtigen vor allem die Einflüsse unterschiedlichster verfärbender Stoffe, wie z.B. Tee, Kaffee oder Rotwein jeweils in Abhängigkeit von der Lagerungszeit.^{63, 108} In nur wenigen Versuchen wurde die Oberfläche der temporären K&B-Materialien berücksichtigt.

Den meisten Studien ist gemeinsam, dass die Verfärbung der Werkstoffe unter Bedingungen geprüft wird, die sehr weit von der klinischen Realität entfernt sind.

2 Ziel der Arbeit

Das Ziel der Arbeit ist es die Farbbeständigkeit temporärer K&B-Materialien zu untersuchen, zu vergleichen und zu bewerten. Dazu werden unterschiedlich oberflächenbearbeitete Probekörper in verschiedenen Farblösungen gelagert. Die Farbveränderung soll nach unterschiedlichen Lagerungszeiten mit einem computergestützten Farbmessgerät ermittelt werden.

3 Eigenschaften temporärer K&B-Werkstoffe

3.1 Aufgaben von und Anforderungen an temporäre Versorgungen

Zunächst sollen im Folgenden die Aufgaben und Anforderungen zusammengefasst werden, die an eine temporäre Versorgung sowie den temporären K&B-Werkstoff zu stellen sind.

Es können drei Aspekte unterschieden werden, die zum einen unabhängig voneinander betrachtet werden müssen, zum anderen jedoch zusammen gehören, da sie zum Teil einander bedingen⁷:

1. **Aufgaben** einer temporären Versorgung,
2. **Klinische Anforderungen**, die eine temporäre Versorgung erfüllen muss, um diesen Aufgaben gerecht zu werden
3. **Werkstoffkundliche, biologische und verarbeitungstechnische Anforderungen** an die temporären K&B-Werkstoffe,^{100, 129} die sich aus den klinischen Anforderungen an die Restauration ergeben⁷.

3.1.1 Aufgaben von temporären K&B-Versorgungen

Die temporären K&B-Versorgung hat vielfältige Aufgaben zu erfüllen.^{7, 16, 24, 39, 64, 72} Durch eine temporäre Restauration soll ein komplikationsloser prothetischer Behandlungsablauf gewährleistet und eine Beeinträchtigung des Patienten vermieden werden. Sie stellt in der Vorbehandlungsphase zudem ein therapeutisches Medium dar, die der Entscheidungsfindung mit dem Patienten dient.^{7, 15, 16, 39, 62, 130, 131}

Einen Überblick über die Aufgaben einer temporären Versorgung gibt [Tabelle 3.1](#).^{4, 5, 11, 15, 16, 82, 88, 94, 96, 122, 127, 128, 131}

Tabelle 3.1: Aufgaben einer temporären K&B-Versorgung⁷

Funktion	Erläuterung / Ergänzung
Schutz der beschliffenen Zahnhartsubstanz und der Pulpa	• Schutz vor thermischen Reizen / Noxen • Schutz vor mikrobiellen Noxen • Schutz vor mechanischen / taktilen Reizen • Schutz vor Karies • Schutz vor Frakturen
Erhalt / Wiederherstellung der Kaufunktion	• Stabilisierung der Kaufunktion • Veränderung der Bisslage • Gewährleistung einer störungsfreien statischen und dynamischen Okklusion
Erhalt / Wiederherstellung der phonetischen Funktion	• Wichtig v.a. bei Frontzahnrestaurationen • Wichtige psychosoziale Komponente für den Patienten
Erhalt / Wiederherstellung des ästhetischen Erscheinungsbildes	• Wichtig v.a. bei Frontzahnrestaurationen • Wichtige psychosoziale Komponente für den Patienten
Stabilisation der Zahnposition	• Schutz vor Elongation, Kippung und Zahnwanderung, vor allem bei Brücken und kombiniertem Zahnersatz
Einsatz der exspektativen Diagnostik	• Abklärung des Mundhygieneverhaltens • Abklärung der Prognose endodontisch behandelter Zähne • Abklärung der Prognose parodontal geschädigter Zähne • Vorwegnahme des definitiven Behandlungsergebnisses
Steuerung der Weichgewebsheilung / Schutz des Parodontiums	• Ausformung der Gingiva nach parodontalchirurgischen oder implantologischen Eingriffen • Schutz des Parodontiums vor Verletzungen • Vermeidung von Gingivawucherungen

3.1.2 Klinische Anforderungen an eine temporäre K&B-Versorgung

Aus den Aufgaben leiten sich die **klinischen Anforderungen** ab, die an **temporäre Kronen und Brücken** zu stellen sind (Tabelle 3.2).^{4, 7, 11, 18, 30, 34, 38, 48, 52, 54, 56, 71, 74, 80, 83, 100, 130}

Tabelle 3.2: klinische Anforderungen an eine temporäre K&B-Versorgung⁷

Anforderung	Erläuterung / Ergänzung
Störungsfreie statische und dynamische Okklusion	• Vermeidung von okklusalen Störungen • Erhalt / Wiederherstellung einer normalen Kaufunktion • Schutz vor Elongation / Zahnkipfung / Zahnwanderung
Marginale Adaptation	• Randdichtigkeit • Schutz der beschliffenen Zahnhartsubstanz
Physiologische Form	• Mundhygienefähigkeit • Ausformung der Gingiva • Schutz des Parodonts
Mechanische Festigkeit und Haltbarkeit	• Langlebigkeit während der Tragedauer • Widerstand gegenüber Kaukräften • störungsfreie Abnahme und Wiederbefestigung • fester Sitz auf dem präparierten Zahn
Biologische Verträglichkeit	• Gewebeverträglichkeit • keine Irritation der Pulpa oder der Mundschleimhaut • geringes allergenes Potential
Ästhetisches Erscheinungsbild	• Zahnfarbe (Farbstabilität, Fluoreszenz) • Zahnform
Glatte Oberflächen	• geringe Porosität der Oberfläche • geringe Verfärbungsneigung • Tragekomfort
Röntgenopazität	• nachweisbar auf einer Röntgenaufnahme bei akzidentellem Verschlucken / Aspiration

Störungsfreie statische und dynamische Okklusion

Eine störungsfreie statische und dynamische Okklusion ist eine der wichtigsten Aufgaben einer temporären Versorgung,^{59, 64} da sie die Kaufunktion erhält bzw. wieder herstellt.^{64, 130}

Eine regelrechte Okklusion vermeidet eine Überlastung einzelner Zähne und wirkt einer Elongation, Wanderung oder Kippung von Zähnen entgegen.^{7, 41, 64}

Marginale Adaptation

Eine gute marginale Adaptation (d.h. Dichtigkeit am Kronenrand)^{7, 8, 129, 130} ist die Voraussetzung zur Vermeidung parodontaler Probleme^{5, 7, 22, 69}, Überempfindlichkeiten an den präparierten Zähnen^{7, 8} und zur Verhinderung einer Reinfektion des Dentins durch Bakterien oder Speichel.^{7, 16, 114}

Physiologische Form

Zur Wiederherstellung des ästhetischen Erscheinungsbildes, als auch der phonetischen Funktion sollte die temporäre Krone oder Brücke der Form des zu ersetzenden Zahnes entsprechen.^{7, 8} Ebenso ist ein besonderes Augenmerk auf den Approximalkontakt zu richten, der zur Stabilisation des Zahnes in der Zahnreihe sowie dem Schutz der Interdentalpapillen beiträgt.^{7, 14, 86}

Mechanische Festigkeit und Haltbarkeit

Temporäre Kronen und Brücken müssen über die gesamte Tragedauer ihre Funktionen erfüllen.^{7, 15, 16, 41, 62, 96, 127} Um eine lange Mundverweildauer zu ermöglichen, muss die temporäre Versorgung eine ausreichende mechanische Festigkeit besitzen.^{7, 64} Darüber hinaus ist eine hohe mechanische Festigkeit wichtig, um ein Zerbrechen der temporären Restauration bei wiederholtem Entfernen vom präparierten Stumpf vorzubeugen.^{7, 16, 41}

Biologische Verträglichkeit

Die biologische Verträglichkeit schließt die lokale Verträglichkeit durch direkte Wechselwirkung der temporären Versorgung mit der Pulpa, umgebenden Mundschleimhäuten und Gewebestrukturen des Parodonts sowie die systemische Verträglichkeit ein.^{7, 129}

Die biologische Verträglichkeit (Biokompatibilität) umfasst die Abgabe potentiell lokal toxisch oder reizend wirkender Substanzen (z.B. MMA in Form von Restmonomeren), ebenso wie ein mögliches allergenes Potential der Inhaltsstoffe.^{7, 16, 41, 130, 131}

Im weiteren Sinn zählt zur biologischen Verträglichkeit auch die exotherme Reaktionswärme, die bei der radikalischen Polymerisation temporärer K&B-Werkstoffe entsteht,^{7, 41, 84, 114} da hohe Temperaturen auf der Zahnoberfläche die Pulpa irreversibel schädigen können.

Ästhetisches Erscheinungsbild

Eine temporäre K&B-Restauration muss sich harmonisch und natürlich in die gegebene Mundsituation einfügen und darf das Erscheinungsbild des Patienten nicht beeinträchtigen.^{7, 15} Um dies zu erreichen, muss die Zahnfarbe als auch die Zahnform der temporären Versorgung mit den umgebenden Zähnen stimmig sein.^{7, 16} Ferner sollte die Zahnfarbe möglichst unbeeinflussbar von äußeren Umgebungsbedingungen sein ([Kapitel 5.1](#)).^{7, 16, 130}

Glatte Oberfläche

Temporäre Kronen und Brücken müssen, ebenso wie definitiver Zahnersatz, hochglanzpoliert sein.^{7, 8, 21, 41} Eine hochglanzpolierte Oberfläche beugt der Plaqueanlagerung^{7, 100} und der Entstehung exogener Verfärbungen^{7, 15, 21, 53} vor. Zudem kann durch eine glatte Oberfläche eine Irritationen der Zunge und Wangenschleimhaut vermieden werden.^{7, 8}

Röntgenopazität

Die Röntgenopazität einer temporären Rekonstruktion ist wichtig im Hinblick auf ein akzidentelles Verschlucken bzw. Aspirieren.⁷ Eine Röntgenopazität kann beispielsweise durch den Zusatz von röntgenopaken Füllstoffen bei compositbasierten Werkstoffen erzielt werden.^{7, 13}

3.1.3 Werkstoffkundliche und verarbeitungstechnische Anforderungen an temporäre K&B-Werkstoffe

Aus den unter [Kapitel 3.1.2](#) dargestellten **klinischen Anforderungen** an eine **temporäre K&B-Versorgung** leiten sich verarbeitungstechnische und werkstoffkundliche Anforderungen ab, die an die temporären K&B-Werkstoffe zu stellen sind.

In der [Tabelle 3.3](#) sind die Materialanforderungen aufgeführt. Zu den Materialanforderungen gehören die Verarbeitung sowie die Handhabung des Werkstoffes. Dabei sollte die Verarbeitung und Handhabung des temporären K&B-Werkstoffes nicht unterbewertet werden, da die Verarbeitungseigenschaften maßgeblichen Einfluss auf die Qualität der fertigen temporären Kronen oder Brücken nehmen.⁷

Tabelle 3.3: Anforderungen an temporäre K&B-Werkstoffe⁷

Anforderung	Erläuterung / Ergänzung
Gute mechanische Eigenschaften	• mechanische Festigkeit und Oberflächenhärte • kantenstabil • zerstörungsfrei abnehmbar
Natürliche Farbgebung	• zahnfarben • farbstabil • geringe Verfärbungsneigung • Fluoreszenz
Gute Bearbeitbarkeit	• Gute Fräsbarkeit • Geringe Inhibitionsschicht
Hochglanzpolierbarkeit	• Porenfreiheit (dichte Struktur) • beständiger Oberflächenglanz
Geringe Polymerisationstemperatur	• Schutz vor thermischen Schädigungen der Pulpa
Biologische Verträglichkeit	• keine Abgabe toxischer Substanzen • geringes allergenes Potential • keine lokalen Gewebeschädigungen
Einfache Verarbeitbarkeit / Handhabung	• gute Mischbarkeit • Automischsysteme
Gute Reparaturfähigkeit	• mit identischem Material oder spezifischen Reparatursystemen zu reparieren
Klinikgerechte Verarbeitungs- und Abbindezeiten	• ausreichend lange Verarbeitungszeit bei möglichst geringer Mundverweildauer
Abrasionsfestigkeit	• ausreichend abrasionsstabil bei längerer Tragedauer
Röntgenopazität	• nachweisbar auf einer Röntgenaufnahme bei akzidentellem Verschlucken / Aspiration
Geringe Polymerisationskontraktion	• geringer Korrekturbedarf nach Fertigstellung
Gummielastische Phase	• zerstörungsfreie Abnahme bei der Herstellung
Geringe thermische Leitfähigkeit	• Vermeidung von Überempfindlichkeiten • Tragekomfort
Geringe Löslichkeit und Wasseraufnahme	• Verfärbungsneigung • Freisetzung von Inhaltsbestandteilen • Mundbeständigkeit
Geruchs- und Geschmacksneutral	• keine Geruchs- und Geschmacksirritationen des Patienten
Gute Fließfähigkeit	• Ausfließen auch dünnwandiger Bereiche
Kompatibel mit temporären Befestigungszementen	• keine Verfärbung • keine Beeinflussung der Festigkeit

3.2 Zusammensetzung der temporären K&B-Werkstoffe

Polymere haben als Werkstoffe über Jahrzehnte eine große Bedeutung in der Zahnmedizin erlangt.³⁰ Sie sind sowohl in der prothetischen als auch in der konservierenden Zahnheilkunde weit verbreitet. So zum Beispiel zur Herstellung von Prothesen, künstlichen Zähnen, als Füllungswerkstoff und zur Herstellung von temporären Kronen und Brücken.

Eine fundierte Materialauswahl setzt Kenntnisse über die chemische Zusammensetzung und die werkstoffkundlichen Eigenschaften temporärer K&B-Werkstoffe voraus.⁸³

Die temporären K&B-Werkstoffe können in zwei Gruppen unterteilt werden^{7, 74, 83}:

- Klassische Pulver/Flüssigkeits-Systeme auf der Basis von Mono-Methacrylaten, welche ausschließlich selbsthärtend (redox-härtend) sind
- Composit-Werkstoffe (Di- oder multifunktionelle Methacrylate), die sowohl chemisch härtend als auch dual härtend sein können

Weitere Zusätze wie Katalysatoren, Inhibitoren, Copolymere, Comonomere, Weichmacher, Vernetzer, Acceleratoren und UV-Absorber geben den verschiedenen Medizinprodukten die für ihre jeweilige Indikation erforderlichen chemischen und physikalischen Eigenschaften und ermöglichen den Einsatz für direkte und indirekte Verarbeitungsverfahren.^{88, 91}

Den ästhetischen Erfordernissen einer temporären Versorgung entsprechend werden die meisten temporären K&B-Werkstoffe in unterschiedlichen Farben angeboten. Die Einfärbung erfolgt durch Pigmente (feine feste Partikel in einer Größe unter 1 μm). Vorwiegend handelt es sich um Metalloxide (z.B. TiO_2 , Fe_2O_3 , Al_2O_3).¹²⁹

3.2.1 Pulver/Flüssigkeitssysteme auf der Basis von Mono-Methacrylaten

Die temporären K&B-Werkstoffe auf der Basis von Mono-Methacrylaten leiten sich von den klassischen MMA/PMMA-Werkstoffen ab (z.B. Prothesenbasiswerkstoffe). Für die Anwendung von temporären Versorgungen haben sich im Gegensatz zu den klassischen MMA/PMMA-Systemen die höhermolekularen Mono-Methacrylate, wie z.B. Ethylmethacrylat (EMA) und Iso-Butylmethacrylat, durchgesetzt. Sie besitzen eine geringe Polymerisationsschrumpfung und entwickeln weniger exotherme Reaktionswärme (geringeres Potential an Pulpaschädigung durch Wärmeentwicklung).⁷

Die Farbgebung ist bei Mono-methacrylaten gut, jedoch neigen sie im Vergleich zu den Composite-Werkstoffen eher zu Verfärbungen.^{73, 74, 113, 127}

Abbindereaktion

Die Abbindereaktion eines temporären K&B-Werkstoffes ist eine radikalische Polymerisation monomerer Einheiten zu einem Polymer.^{7, 81} Es handelt sich um einen chemischen Vorgang, der in drei Phasen unterteilt werden kann (Abb. 3.1):^{30, 81}

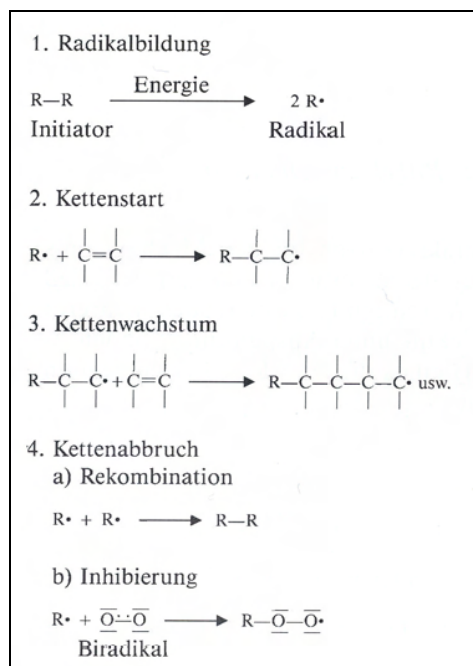
1. **Startreaktion** (Bildung der Radikale)
2. **Kettenwachstum** (Verbindung von Radikalen mit Monomeren)
3. **Abbruchreaktion** (Inaktivierung der Radikale)

Die **Startreaktion** beginnt durch Energiezufuhr (Wärmeenergie, Lichtenergie oder Aktivatoren). Durch die zugeführte Energie bilden die im Monomer enthaltenen Initiatoren Radikale (=energiereiche Verbindungen mit einem ungepaarten Elektron). Benzoylperoxid (BPO) ist beispielsweise ein Initiator bei methacrylatbasierten Werkstoffen.³⁰

Beim nachfolgenden **Kettenwachstum** entstehen neue Radikalmoleküle aus dem Initiatorradikal und dem primären Monomerbaustein. Sie können einen neuen Monomerbaustein an dessen Doppelbindung angreifen und so das Kettenwachstum fortsetzen. Durch eine kovalente Bindung folgt die Verknüpfung der vormals untergeordneten und locker zusammengehaltenen Monomere zu Polymerketten. Es kommt zur Bildung eines polymeren Makromoleküls.^{30, 81}

Letztendlich kommt es zum **Kettenabbruch**, indem zwei Radikale zusammentreffen (Rekombination) oder die Radikale durch Reaktion mit Inhibitoren oder Luftsauerstoff abreaktieren. Inhibitoren agieren als Radikalfänger. Ein solcher Inhibitor ist beispielsweise das Hydrochinon. Luftsauerstoff kann ebenfalls als Radikalfänger fungieren.

Die Wirkung des Luftsauerstoffes wird besonders auf der Oberfläche von Komposits deutlich. Die Oberfläche bleibt stets klebrig, was auf nicht umgesetztes Monomer zurückzuführen ist.⁵⁸


 Abb. 3.1: Ablauf der Polymerisation³⁰

3.2.2 Temporäre K&B-Werkstoffe auf der Basis von Composites

Hierbei handelt es sich um K&B-Werkstoffe die in ihrer Zusammensetzung den Füllungscomposites ähneln.^{7, 16, 64} Sie basieren auf einer Matrix polymerisierbarer Monomere. In diese Matrix sind chemisch Füllstoffe eingebunden.⁷ Als Monomere werden höhermolekulare, mehrfunktionelle Methacrylate (z.B. Di-Methacrylate) eingesetzt. Klassische Monomere sind Bisphenol-A-glycidyl-dimethacrylat (Bis-GMA), Triethylenglycol-dimethacrylat (TEGDMA) und Urethan(ethylen)glycol-dimethacrylat (UDMA).

Hinsichtlich der Farbgebung sowie endogener Verfärbungsneigung verhalten sich die composite-basierenden Werkstoffe vorteilhafter als die Mono-Methacrylate.^{73, 113}

Die Initiierung der Polymerisationsreaktion kann, wie auch bei den Mono-Methacrylaten, chemisch (selbsthärtende Composites), durch Licht (lichthärtende Composites) oder durch eine Kombination aus beiden (dualhärtende Composites) erfolgen.

4 Grundlagen Farbe und Farbmatrik

4.1 Farbe

Farbe ist definiert als diejenige Gesichtsempfindung eines dem Auge strukturlos erscheinenden Teiles des Gesichtsfeldes, durch die sich dieser Teil bei einäugiger Beobachtung mit unbewegtem Auge von einem gleichzeitig gesehenen, ebenfalls strukturlosen angrenzenden Bezirk allein unterscheiden kann.^{60, 93}

Die Gesichtsempfindung stellt sich in drei Merkmalen dar:^{17, 60, 93}

- **Buntton** – entspricht einer bestimmten Wellenlänge und führt über Unterscheidung von Farbfamilien zu genauen Farbbezeichnungen, z.B. blau, grün, gelb, rot usw.
- **Sättigung** – ermöglicht die Einschätzung des Anteils reiner bunter (monochromatischer) Farbe, die in der gesamten Gesichtsempfindung enthalten ist, wodurch kräftige von blassen Farben unterschieden werden können
- **Helligkeit** – Merkmal, nach dem der Körper mehr oder weniger stark lichtreflektierend beurteilt wird, somit wird hell und dunkel unterschieden.

Diese drei Faktoren der visuellen Wahrnehmung sind unabhängig voneinander linear abstufbar: der **Buntton** wellenlängenabhängig von violett (400 nm) nach rot (700 nm), die **Sättigung** von entsättigend nach leuchtend (0 bis 1,0) und die **Helligkeit** von schwarz bis weiß (0 bis 100). Anhand dieser drei Werte kann jede Farbe in einem dreidimensionalen Farbdarstellungssystem charakterisiert werden.^{17, 60} Dieses Prinzip wird in Farbatlanten umgesetzt, in denen die Farben schematisch nach ihren Abstufungen in bestimmte Farbräume eingeordnet und kategorisiert werden. Der bekannteste ist der 1915 veröffentlichte Munsell-Atlas ([Kapitel 3.2.2](#)). Des weiteren existiert noch eine DIN-Normtafel und ein neuerer NCS-Atlas (Normacolor Spatial System), der den Vorteil hat, dass er auf den weit verbreiteten *CIELAB*-Farbräumen aufgebaut ist ([Kapitel 3.2.3](#)).^{17, 60, 103}

Physikalisch gesehen ist Farbe keine Realität, sie ist vielmehr eine Interpretationsleistung des Beobachters mittels Auge und Großhirnrinde.¹⁷ Die Materie, die wir sehen, hat keine Farbe.²⁹ Sie besitzt lediglich die Eigenschaft, bestimmte elektromagnetische Strahlungen zu reflektieren, zu absorbieren oder passieren zu lassen.^{17, 60, 103, 135} Innerhalb des breiten elektromagnetischen Spektrums kann nur ein eingeschränkter Bereich zwischen ca.

400 nm und ca. 700 nm Wellenlänge vom menschlichen Auge wahrgenommen werden: das Licht. Somit wird die Farbe eines Objektes von dessen selektiver Absorption der Strahlung bestimmter Wellenlängen bestimmt. Die nicht absorbierten Strahlungen werden hingegen reflektiert oder durchgelassen und damit für den Beobachter sichtbar.^{17, 93, 103, 135}

4.2 Farbmetrik

Farbmetrik beinhaltet die Messung sichtbarer Energiestrahlen und die Errechnung zugeordneter Farbwerte.²⁹ Ziel der Farbmetrik ist es, die visuelle Beurteilung eines menschlichen Beobachters mit seinen physikalischen, physiologischen und psychologischen Veränderungen in objektiven Zahlenwerten auszudrücken.^{17, 60}

4.2.1 Das xyz-Farbsystem

Es gibt drei grundsätzlich verschiedene Methoden der Farbmessung: das Gleichheitsverfahren, das Spektralverfahren und das Dreibereichsverfahren.^{93, 103} Beim Gleichheitsverfahren muss ein Proband durch den Vergleich mit Farbmusterkarten (DIN-Karten) eine Farbe zuordnen. Dieses Verfahren ist für technische Messungen ohne Bedeutung.¹⁰³ Die anderen beiden Methoden machen sich aus Gründen der Vereinfachung der Messung das Normvalenzsystem zunütze.¹⁰³ Dieses 1931 von der Internationalen Beleuchtungskommission (CIE) über unzählige Gleichheitsurteile und Eichungen entwickelte System, ermöglicht die Einordnung einer Farbe in ein Farbdreieck ([Abb. 4.1](#)) und ist die wissenschaftliche Grundlage der modernen Farbmessung.^{17, 60, 103}

Die Normfarbwerte X (Abszisse) und Z (Ordinate) ergeben in der Farbtabelle eine bestimmte Farbvalenz, der nachträglich die Helligkeit Y zugeordnet wird. Im oberen Bereich finden sich die Grün- und Blautöne, die Violetttöne im unteren linken und die Rottöne im unteren rechten Bereich.^{17, 60}

Diese Farbempfindlichkeitsbereiche des Betrachters wurden von der CIE in den Funktionen x, y und z festgelegt, wobei x für den Rotanteil, y für den Grün- und z für den Blauanteil steht. Nach einem Rechensystem war es möglich, Farben in Zahlenwerten auszudrücken.¹³⁶

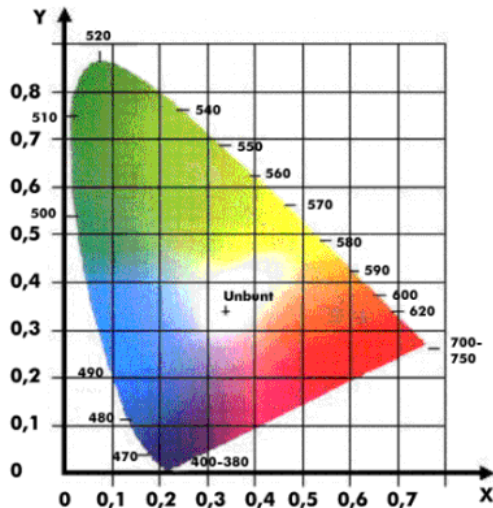
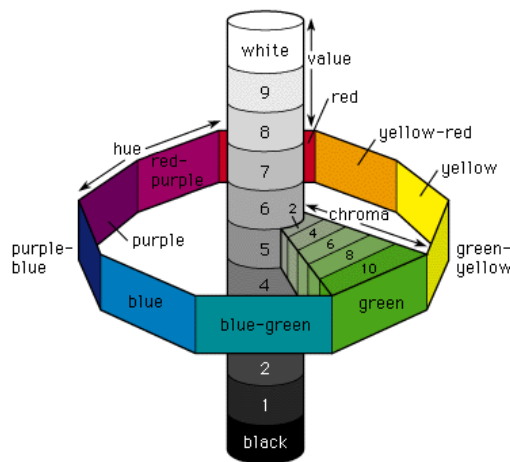


Abb. 4.1: CIE-Farbdreieck (nach DIN 5033)

4.2.2 Das Munsell Color System

Vor 100 Jahren definierte Albert Munsell, ein amerikanischer Künstler, drei Dimensionen einer Farbe (Abb. 4.2): den Farbton (Hue), die Helligkeit (Value) und die Farbsättigung (Chroma)⁹.



©1994 Encyclopaedia Britannica, Inc.

Abb. 4.2: Räumliches Modell von Hue, Value, Chroma (aus Britannica)

Aus einem zunächst zehnteiligen, gleichabständigen Bunttonkreis, in dem sich stets Bunttöne gegenüberlagen, die sich – seiner Auffassung nach – miteinander zu Unbunt mischen ließen (kompensative Bunttöne) und sich in Buntheit und Helligkeit gleich waren, entwickelte er durch Mischungen sein vollständiges Farbsystem. Allerdings sollte sich zeigen, dass z.B. Bunttöne verschiedener Sättigung nicht auf einer Geraden, sondern auf einer gekrümmten Linie lagen. Außerdem zeigte sich, dass gleiche Strecken nicht gleichen empfindungsmäßigen Farbabständen entsprachen. Trotzdem fanden fortan diese drei Merkmale einer Farbe Eingang in die verschiedenen Farbsysteme.^{60, 93}

Somit diene das *Munsell Color System* als Grundlage für die heute gebräuchliche Definition von Farben im dreidimensionalen Raum über das CIELAB-System¹ (auch CIE L*a*b*-System).⁶⁰

4.2.3 Das CIELAB-System

Das CIELAB-System von 1976 definiert einen Farbenraum, in dem eine Farbe einsortiert werden kann. Es baut auf den Koordinaten L, a und b auf, die sich aus den Normfarbwerten X, Y und Z durch eine nichtlineare Transformation ergeben.

Wie in Abb. 4.3 dargestellt, repräsentiert im CIELAB-System der L*-Wert die Helligkeit (100 = weiß, 0 = schwarz), a* und b* beschreiben die Farbvalenz (beinhaltet Sättigung und Buntton) auf den Achsen rot-grün (a*) und gelb-blau (b*). Ein positiver a*-Wert steht für einen roten, ein negatives a* für einen grünen Farbton. Ein gelber Farbton wird durch einen positiven b*-Wert charakterisiert, ein blauer durch ein negatives b*. Der Betrag eines jeden Wertes ist proportional zur Sättigung.^{17, 60, 93, 103}

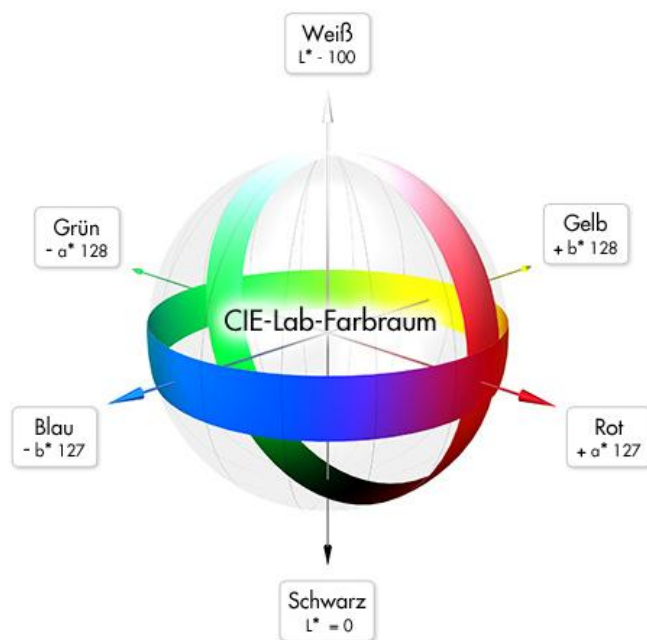


Abb. 4.3: CIELAB-Farbenraum (aus www.druckfarbendoc.de)

¹ CIE: Commission International De L'Eclairage = Internationale Beleuchtungskommission

Um zwei Farben miteinander zu vergleichen, beurteilt man den Farbabstand zweier Farbpunkte. Dieser Farbabstand ΔE wird durch die geometrische Entfernung der Punkte im Farbenraum festgelegt und lässt sich über folgende Farbabstandsformel berechnen:⁶⁰

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

Dabei gilt:

$$\Delta L^* = L_{\text{probe}}^* - L_{\text{Bezug}}^*$$

$$\Delta a^* = a_{\text{probe}}^* - a_{\text{Bezug}}^*$$

$$\Delta b^* = b_{\text{probe}}^* - b_{\text{Bezug}}^*$$

Das Vorzeichen der Differenz Δ zwischen den verglichenen Farbtönen gibt jeweils die Richtung der Veränderung an:

ΔL^* positiv: heller; ΔL^* negativ: dunkler; Δa^* positiv: mehr rot; Δa^* negativ: mehr grün; Δb^* positiv: mehr gelb; Δb^* negativ: mehr blau

Als visuell gerade noch unterscheidbar werden die ungleichen Farbabstände von $\Delta E = 0,4$ ¹¹² über $\Delta E = 1,5$ ¹³³ bis zu $\Delta E = 2-3$ ¹⁰⁸ und $\Delta E = 4$ angegeben. Nach Kappert⁶¹ sind $L^*a^*b^*$ -Unterschiede von 1 für das menschliche Auge gerade noch differenzierbar.⁶⁰

4.2.4 Das LCh-System

Dieses System geht von dem gleichen Farbraumdiagramm aus wie das $L^*a^*b^*$ -System, jedoch steht C für die Buntheit und h definiert den Winkel zur +a-Achse, also dem Rotton.

Die Buntheit C wird als Abstand von der Mitte des Diagramms, dem unbunten Koordinatenursprung, gemessen. Die Bunttonwinkel sind 0° für rot, +a, 90° für +B, also gelb, 180° für -a, grün und 270° für -b, also blau.^{60, 61}

Die theoretischen Grundlagen machen es möglich, über Farbmessgeräte reproduzierbare Farbmaßzahlen zu ermitteln.

5 Verfärbungen temporärer K&B-Werkstoffe

5.1 Verfärbungen

Heutige temporäre K&B-Werkstoffe ermöglichen die Erstellung zahnfarbener Restaurationen. Aus ästhetischem Grund ist es unerwünscht, wenn sich die optischen Eigenschaften der temporären K&B-Restaurationen ändern, insbesondere wenn Verfärbungen des temporären K&B-Werkstoffes auftreten. Grundsätzlich wird zwischen endogenen und exogenen Verfärbungen unterschieden. Ist die Art und Ursache der Farbveränderung bekannt, lässt sich daraus eine entsprechende Handhabung der temporären K&B-Materialien ableiten.

5.1.1 Endogene Verfärbungen

Endogene Verfärbungen können durch Änderungen der chemischen Struktur des Werkstoffes bedingt sein. Im Gegensatz zu oberflächlichen Verfärbungen, kann auf die Entstehung endogener Verfärbungen kaum Einfluss genommen werden. Sie können viele Ursachen haben. Die Kunststoffstruktur kann sich durch chemische Prozesse ändern, was durch unverbrauchte Initiatoren geschehen kann.¹²⁴ Diese stellen zwar nur etwa 0,5% des Kunststoffes dar, sind aber entscheidend für die Farbstabilität.³² Bei den Autopolymerisaten ist besonders das tertiäre aromatische Amin (N, N-Bis(2-Hydroxyethyl)-p-toluidin) für die gegenüber den lichthärtenden Materialien schlechtere Farbstabilität verantwortlich. Ein Nebenprodukt, das während der Reaktion des tertiären aromatischen Amins gebildet wird, führt zu deutlichen Gelbverfärbungen.³²

Bei lichthärtenden Polymeren ist diese Gelbfärbungsneigung deutlich weniger ausgeprägt.^{32, 57} Zum einen liegen die verwendeten aromatischen und aliphatischen Amine in geringerer Konzentration vor als das tertiäre Amin der autopolymerisierenden Kunststoffe, zum anderen ist es weniger reaktionsfreudig. Gelbfärbung verursacht hier jedoch ein anderer Stoff, nämlich das zur Aushärtung gebrauchte Kampferchinon. Dieser Stoff hat eine intensive gelbe Eigenfarbe. Seine Eigenfarbe verleiht dem unpolymerisierten Kunststoff eine Gelbfärbung, die nach Vernetzen in einen neutralen Farbton übergeht.³²

Ein weiterer Faktor für endogene Verfärbungen ist der Gehalt an Bis-GMA. Je höher der Gehalt von Bis-GMA im Monomer ist, desto geringer ist die endogene Verfärbungsneigung.³²

Der Zusammenhang zwischen Wasseraufnahme und der dadurch resultierenden Verfärbung wurde vielfach beschrieben.^{28, 101} Einige Autoren gingen davon aus, wo Wasser eindringen kann, können ebenso verfärbende Substanzen eindringen. Bei einzelnen Untersuchungen wurde vermutet, dass genau die Wasseraufnahme eine Rolle bei endogenen Verfärbungen spielt.^{40, 43, 77, 105} Bis auf wenige Ausnahmen, bei denen eine Farbveränderung durch Lagerung in Wasser gezeigt werden konnte,^{20, 87} konnte diese These jedoch nicht gestützt werden.^{55, 108}

5.1.2 Exogene Verfärbungen (Oberflächenverfärbungen)

Exogenen Verfärbungen können durch alle in der Mundhöhle vorkommenden Stoffe, wie beispielsweise Speichel, Nahrungsmittel oder Tabakrauch verursacht werden.

Die exogene Verfärbungsneigung eines Polymers bezieht sich auf die An- bzw. Auflagerung von farbigen Verbindungen an das Material. Sie wird vor allem durch die Beschaffenheit der Oberfläche beeinflusst. Sie können, im Gegensatz zu endogenen Verfärbungen, durch eine Politur der Oberfläche verringert bzw. entfernt werden.³²

Grübchen, Fissuren und Defekte auf der Oberfläche von temporären K&B-Versorgungen sowie mangelnde Mundhygiene begünstigen die Akkumulation von Biofilm und Nahrungsresten und somit die Entstehung von Verfärbungen.¹⁰²

Generell wurde eine erhöhte Plaqueanlagerung an Kunststoffen festgestellt, die eine unzureichend polierte Oberfläche aufweisen.⁷⁰ Beschriebene Substanzen, die sich auf die Oberfläche (Rauheit) von temporären K&B-Werkstoffen auflagern und somit verfärben können, sind Rotwein, Kaffee, Tee, Sesamöl, Curcuma, Tabak und diverse andere in Nahrungsmitteln vorkommenden Stoffe.

5.2 Farbstabilität temporärer K&B-Materialien

Die Farbbeständigkeit temporärer K&B-Werkstoffe und deren beeinflussenden Parameter wurden in zahlreichen Studien beleuchtet. Die [Tabelle 5.1](#) und [Tabelle 5.2](#) am Ende des Kapitels zeigt eine Übersicht dieser Studien.

Der Vergleich der Farbveränderung bei temporären K&B-Materialien, mit unterschiedlich polierten Oberflächen, galt dem Interesse von Rutkunas *et al.*^{97, 98} zum einen im Jahr 2009 und zum anderen 2010. Im Jahre 2009 wurden unterschiedliche Politurverfahren angewendet und 2010 wurde die Oberfläche mit Bonding-Lacken versiegelt. Die Werkstoffe wurden nach der Oberflächenvergütung für sieben Tage in den Farblösungen gelagert. Wobei

die höchste Farbstabilität bei den Mono-Methacrylaten festgestellt wurde und auch die Oberfläche einen signifikanten Einfluss auf die Farbveränderung nahm.

Zwei Studien untersuchten temporäre K&B-Materialien auf Farbbeständigkeit. Die Probekörper wurden nicht oberflächenbearbeitet und wurden bei Givens *et al.*⁴² für sieben Tage in Tee und bei Sham *et al.*¹¹³ für 20 Tage in Kaffee und Aqua dest gelagert. Das Ausmaß der Farbveränderung erfolgte in beiden Studien mit einem Colorimeter. Givens *et al.*⁴² stellte die meiste Farbveränderung bei *Protemp Garant* fest. Sham *et al.*¹¹³ kam zu dem Ergebnis, dass *Luxatemp* und *Integrity* eine akzeptable Farbstabilität besitzen, jedoch war die Farbe bei den Methyl- /Ethylmethacrylaten am stabilsten.

Eine künstliche Alterung temporärer K&B-Werkstoffe mittels UV-Licht-Bestrahlung führten Sham *et al.*¹¹³, Doray *et al.*^{26,27}, Lang *et al.*⁷³ und Wang *et al.*¹²⁶ durch. Bei diesen Studien bearbeitete nur die Arbeitsgruppe Lang *et al.* die Oberfläche mit 1000-grit Siliziumcarbidpapier, die anderen genannten Autoren nahmen keine Oberflächenbearbeitung vor. Die zeitliche Exposition der Probekörper war bei diesen Studien sehr unterschiedlich, sie reicht von 20 min bis zu 3 Tagen. Die Farbveränderung der Probekörper wurden von Sham *et al.* und Wang *et al.* mit einem Colorimeter und von Doray *et al.* und Lang *et al.* mit einem Spektrophotometer bestimmt. Alle Studien kamen zu dem Ergebnis, dass Materialien auf Polymethylmethacrylatbasis den modernen Materialien überlegen seien. Das Material *Protemp Garant* erwies sich in den Studien Sham *et al.*, Doray *et al.* und Wang *et al.* als farbinstabilsten.

Weitere Studien untersuchten die Verfärbungsneigung temporärer K&B-Werkstoffe in künstlich hergestelltem Speichel. Oftmals wurde der künstliche Speichel mit Farbstoffen, wie Kaffee, angereichert. Scotti *et al.*¹⁰⁶ bearbeitete zusätzlich die Oberfläche mit Kalziumkarbonat, Haselton *et al.*⁴⁹ bearbeitet die Oberfläche nicht. In beiden Studien lagerten die Werkstoffprobekörper von 7 bis 30 Tagen in dem Speichel-Kaffee-Gemisch. Zur Farbmetrik verwendete Haselton *et al.* ein Colorimeter und Scotti *et al.* ein Spektrophotometer. Beide Arbeitsgruppen stellten bei allen temporären K&B-Materialien eine Farbveränderung in Abhängigkeit von der Zeit fest. Die größte Veränderung zeigte das moderne Dimethacrylat *Protemp*.

Der Vergleich der Farbveränderung bei rauen und polierten Oberflächen von temporären K&B-Materialien galt das Interesse von Güler *et al.*⁴⁴, Ergün *et al.*³³ sowie Guler *et al.*⁴⁵ Eine Oberflächenbearbeitung mit Siliziumcarbidpapier nahmen Türker *et al.*¹²⁰, Guler *et al.*⁴⁶ und Yannikakis *et al.*¹³⁴ vor. Die Lagerungszeiten der Werkstoffe in Farbmedien

reichte von 1 Tag bis 30 Tage. Durch eine Politur der Materialoberfläche konnte die Verfärbung der Werkstoffe vermieden bzw. verringert werden, so zitierten die Arbeitsgruppen Güler⁴⁴ und Guler⁴⁵. Speziell Güler *et al.* empfiehlt eine Ausarbeitung mittels Bimsstein und Diamantpaste. Weiterhin wurde bei den beiden genannten Studien festgestellt, dass Materialien auf PMMA-Basis die besseren Ergebnisse lieferten und somit am farbstabilsten waren. Auch Türker *et al.*¹²⁰, Ergün *et al.*³³, Guler *et al.*⁴⁶ und Yannikakis *et al.*¹³⁴ konnten bei allen getesteten Materialien sichtbare Farbveränderungen verzeichnen.

Robinson *et al.*⁹⁵ führte mit einem völlig anderen Medium den Farbbeständigkeitstest an temporären K&B-Werkstoffen durch. Er legte die Probekörper für 14 Tage in 10%-iges Carbamidperoxid. Carbamidperoxide und Wasserstoffperoxide dienen in der Zahnheilkunde dem sog. Bleaching (Zahnaufhellung). Das verwendete Peroxid rief bei allen temporären Materialien auf Methacrylat-Basis Verfärbungen hervor. Das Dimethacrylat *Protemp*, sowie die Polycarbonatkronen wiesen keine Farbveränderungen auf.

Hersek *et al.*⁵³ und Koumjian *et al.*⁶⁸ untersuchten die temporären K&B-Materialien in einen In-Vivo-Experiment. Sie applizierten temporäre K&B-Werkstoffe in Form von kreisrunden Probekörpern in die Basis von Totalprothesen. Die Patienten aus der Studie von Hersek *et al.* mussten die Proben für 21 Tage tragen, bei Koumjian *et al.* erfolgte die Auswertung nach 7, 35 und 63 Tagen. In beiden Untersuchungen konnten keine gravierenden Farbveränderungen festgestellt werden, sodass beide Untersucher zu dem Ergebnis kamen, dass eine temporäre K&B-Versorgung für eine kurze Tragedauer farbstabil ist.

Yaman *et al.*¹³³ testete temporäre K&B-Materialien mit einem Alterungssimulator (Weather-O-Meter). Dieses Gerät wird überwiegend in der Industrie zur Testung der Materialbeständigkeit verschiedenster Produkte verwendet. Die verwendeten temporären K&B-Materialien erhielten keine Oberflächenbearbeitung. Aus dieser Studie resultierte, dass das Material *Kind* die geringste und das Material *Trim* die höchste Farbveränderung zeigte.

5.2.1 Zusammenfassung

Die Analyse der Literatur zeigt deutlich, dass bei temporären K&B-Materialien grundsätzlich mit Farbveränderungen nach Lagerung in Farblösungen zu rechnen ist.

Die beschriebenen Untersuchungen befassen sich mit der Farbstabilität nach mindestens einem Tag und höchstens sechzig Tagen Lagerzeit in verschiedenen Farblösungen. Dabei wird, mit Ausnahme zweier Studien, die Rauheit der Oberflächen an den Proben nicht berücksichtigt. Die Lagerung in der jeweiligen Farblösung erfolgt dabei relativ lange. Zudem

berücksichtigen die verfügbaren Studien nicht die aktuell auf dem Markt erhältlichen Produkte.

Es konnte keine einzige Studie identifiziert werden, die sich mit der initialen Farbveränderung während der ersten Stunden befasst und die gleichzeitig die Oberflächenrauheit berücksichtigt. Diese Tatsache wurde in der vorliegenden Untersuchung aufgegriffen.

Tabelle 5.1: Teil I: Übersicht der Studien zur Untersuchung der Farbstabilität bei temporären K&B-Werkstoffen

Autor (Jahr)	Untersuchte Materialien	Farbmedium	Lagerungszeit	Oberflächenbearbeitung
Rutkunas (2010)	Dentalon Plus, Unifast Trad, Luxatemp Fluorescence, Pro-temp 3 Garant, Revotek, RxCreate, Structur Premium	Aqua dest, Kaffee, Rotwein, Gelbmischung	7 d	Politur, Bonding-Systeme
Rutkunas (2009)	Dentalon Plus, Unifast Trad, Luxatemp Fluorescence, Pro-temp 3 Garant, Revotek, RxCreate, Structur Premium	Kaffee mit Zucker, Rotwein,	7 d	Silikonpolierer, Polierpasten
Givens (2008)	Protemp Garant, Integrity, Luxatemp Solar, Snap	Tee	7 d	keine
Güler (2006)	PMMA, PEMA, PVMA, UTMA, bis-Acryl, mikrogefüllter Kunststoff	Tee, Kaffee, Rotwein	1 d	rau, poliert
Türker (2006)	Structure 2 Dominant, GC Unifast LC, Sytemp c&b, Dentalon Plus, Temdent	Kaffee, Tee, Coca-Cola, Orangensaft, Rotwein	1 d, 7 d, 30 d	600-grit Siliziumcarbidpapier
Ergün (2005)	Structur, Temdent, Tab 2000	Karottensaft, Tee, Cola, Cola light, Aqua dest	1 d, 7 d, 14 d, 28 d	
Haselton (2005)	Alike, Jet, Temporary Bridge Resin, Unifast, Zeta CC, Instatemp, Integrity, Luxatemp, Protemp Garant, Provipont, Provitec, Temphase	künstlicher Speichel, Kaffee	7 d, 14 d, 28 d	keine
Guler (2005)	Protemp II, Luxatemp, Revotek LC, TemDent	Kaffee	2 d bei 37°C	keine Bearbeitung, rau, poliert
Guler (2005)	Revotek LC, Protemp II, Herculite XRV, Filtek Z250	Aqua dest, Kaffee, Kaffee, Tee, Rotwein, Cola, Sauerkirschsaft	24 h	1000-grit Siliziumcarbidpapier
Sham (2004)	Trim II, Duralay, Alike, Luxatemp, Integrity	Aqua dest, Kaffee, UV-Licht	Aqua dest und Kaffee 20 d, UV-Licht 1 d	keine

Tabelle 5.2: Teil II: Übersicht der Studien zur Untersuchung der Farbstabilität bei temporären K&B-Werkstoffen

Autor (Jahr)	Untersuchte Materialien	Farbmedium	Lagerungs- zeit	Oberflächen- bearbeitung
Doray (2001)	AccuSet, Qyk-Set, Temp-Plus, Vita Zeta, Bis-Jet, Integrity, Maxi-Temp, Protemp Garant, Provipont DC, Turbo Temp, Ultra Trim	Künstliche Alterung mittels UV-Licht	20-60 min	keine
Yanni- kakis (1998)	Jet, Caulk Temporary Bridge Resin, Protemp Garant, Luxatemp Solar, Provipont DC, SR-Ivocron-PE	Kaffee, Tee	1 d, 7 d, 30 d	1000-grit Siliziumcarbidpapier
Lang (1998)	Cronsin, Protemp Garant, Protemp Garant NF, Protemp II, Trim, Provipont DC	Künstliche Alterung mittels UV-Licht	1 d, 3 d	1000-grit Siliziumcarbidpapier
Scotti (1997)	Trim, Protemp, Mixacryl II, Cold Pac	Künstlicher Speichel pur und gemischt mit Tee, Kaffee, Chlorhexidin	20 d, 30 d	Calcium-Karbonat (Korngröße 80µm)
Doray (1997)	Alike, Jet, Snap, TempPlus, Unifast LC, Intertemp, Luxatemp, Protemp II, Protemp Garant, Provipont, Struktur 2, Tempcare	Künstliche Alterung mittels UV-Licht	20-60 min	keine
Robinson (1997)	Alike, ColPac, Protemp, Snap, Trim	10% -iges Carbamidperoxid	14 d	keine
Hersek (1996)	Dentalon Plus, Express, Tab 2000	In vivo, Materialien in Totalprothesen appliziert	21 d	keine
Koumjian (1991)	Snap, Trim, True Kit, Protemp, Triad, Duralay, Cold Pac	In vivo, Materialien in Totalprothesen appliziert	7 d, 35 d, 63 d	keine
Yaman (1989)	Duralay, Kind, Tab, Snap, Trim	Weather-O-Meter mit 43°C und 90% Luftfeuchtigkeit	6 h	keine
Wang (1989)	Alike, Jet, Protemp, Triad, Trim, Snap	Künstliche Alterung mittels UV-Licht, Aqua dest	1 d, 42 d	keine

6 Material und Methode

6.1 Materialien

Im Rahmen der vorliegenden Studie wurden vier temporäre K&B-Materialien aus der Gruppe der Composite-Werkstoffe und ein Produkt aus der Gruppe der klassischen Pulver-Flüssigkeitssysteme untersucht (Tabelle 6.1).

Tabelle 6.1: Untersuchte provisorische Kronen- und Brückenmaterialien

Material	Hersteller	Füllstoffanteil [Gew. %]	Abbindezeit [min]	Charge	Farbe	Anmischverfahren/Mischungsverhältnis Basis : Katalysator [Volumenanteile]
Protemp 3 Garant	3M ESPE, Seefeld, D	30	5	B:253470 C:250070	A3	Automatische Mischung 10:1
Luxatemp AM Plus	DMG, Hamburg, D	44	6 - 7	569024	A2	Automatische Mischung 10:1
Structur Premium	VOCO, Cuxhaven, D	43	3,5	650744	A2	Automatische Mischung 1:1
PreVISION CB	Heraeus Kulzer, Hanau, D	44	4	625065	A2	Automatische Mischung 4:1
Dentalon Plus	Heraeus Kulzer, Hanau, D	0	9,5	P: 010280 M: 010205	L (light = A3)	Handmischverfahren 2g:1,2ml

Laut Angaben der jeweiligen Hersteller setzen sich die verwendeten K&B-Materialien wie folgt zusammen:

- **Protemp 3 Garant** ist ein Bisacrylat-Composit mit einer mehrfach funktionellen Methacrylsäureester-Gruppe. Die Basispaste besteht aus Dimethacrylat, Glaspulver, Kieselsäure, Initiatoren, Diacrylat, Stabilisatoren, synthetischen Harzen, Pigmenten und Farbstoffen. Die Katalysatorpaste besteht aus Weichmachern, Glaspulver und Initiatoren. Die verwendeten Gläser sind sehr fein und versprechen eine glatte Oberflächenstruktur und gute Polierbarkeit ($d_{50} < 0.7 \mu\text{m}$, $d_{90} < 3 \mu\text{m}$).
- **Luxatemp AM Plus** gehört in die chemische Stoffklasse der Bis-Acrylate. Dieses Material setzt sich aus einem Glasfüllstoff in einer Matrix aus multifunktionellen

Methacrylaten; Katalysatoren, Stabilisatoren und Additive zusammen. Dieser temporäre K&B-Werkstoff ist frei von Methylmethacrylat und Peroxiden.

- **Structur Premium** gehört ebenfalls der chemischen Stoffklasse der Bis-Acrylate an. Structur Premium enthält Methacrylate, Amine, Terpene, Benzoylperoxid sowie Butylhydroxytoluol.
- **PreVISION CB** wird auf der Basis multifunktionaler Methacrylate hergestellt und enthält Füllstoffe aus Barium und Glas.
- **Dentalon Plus** ist ein klassisches Pulver/Flüssigkeitssystem auf der Basis von Mono-Methacrylaten ([Kapitel 3.2.1](#)). Das Pulver enthält Polyethylmethacrylat und Polymethylacrylat sowie anorganische Füllstoffe. Die Flüssigkeit enthält n-Butylmethacrylat, Urethanacrylat und Ethylmethacrylat.

Die Farblösungen, in denen die Probekörper gelagert wurden, sind in [Tabelle 6.2](#) aufgeführt.

Tabelle 6.2: Farblösungen

verwendete Farblösung	Hersteller / Charge	Dosierung
Kaffee	EUCO GmbH, Hamburg, D Typ: Klassisch Fein, L5V8074	500 ml kochendes Aqua dest + 20 g Kaffeepulver
Rotwein	Chianti 2006, Madonnino, Italien AAJ 06508344	pur
Curcuma	VITASIA, Neckarsulm, D, Typ 6165DB	500 ml kochendes Aqua dest + 1 g Curcuma
Aqua dest		pur
0,02 N Zitronensäure		12,61 g Citrat + 1 l Aqua dest
Schwarzer Tee	Meßmer, Seevetal, D Typ Klassik, Nr. 116060241	500 ml kochendes Aqua dest + 2 Teebeutel; 4 min ziehen lassen
Coca Cola®	Coca Cola®, Berlin, D, LG580291838	pur

6.2 Methodik

6.2.1 Übersicht

Im Rahmen der Untersuchung wurden 120 Probekörper je Material angefertigt und randomisiert auf eine der Prüfgruppen aufgeteilt ([Abb. 6.1](#)).

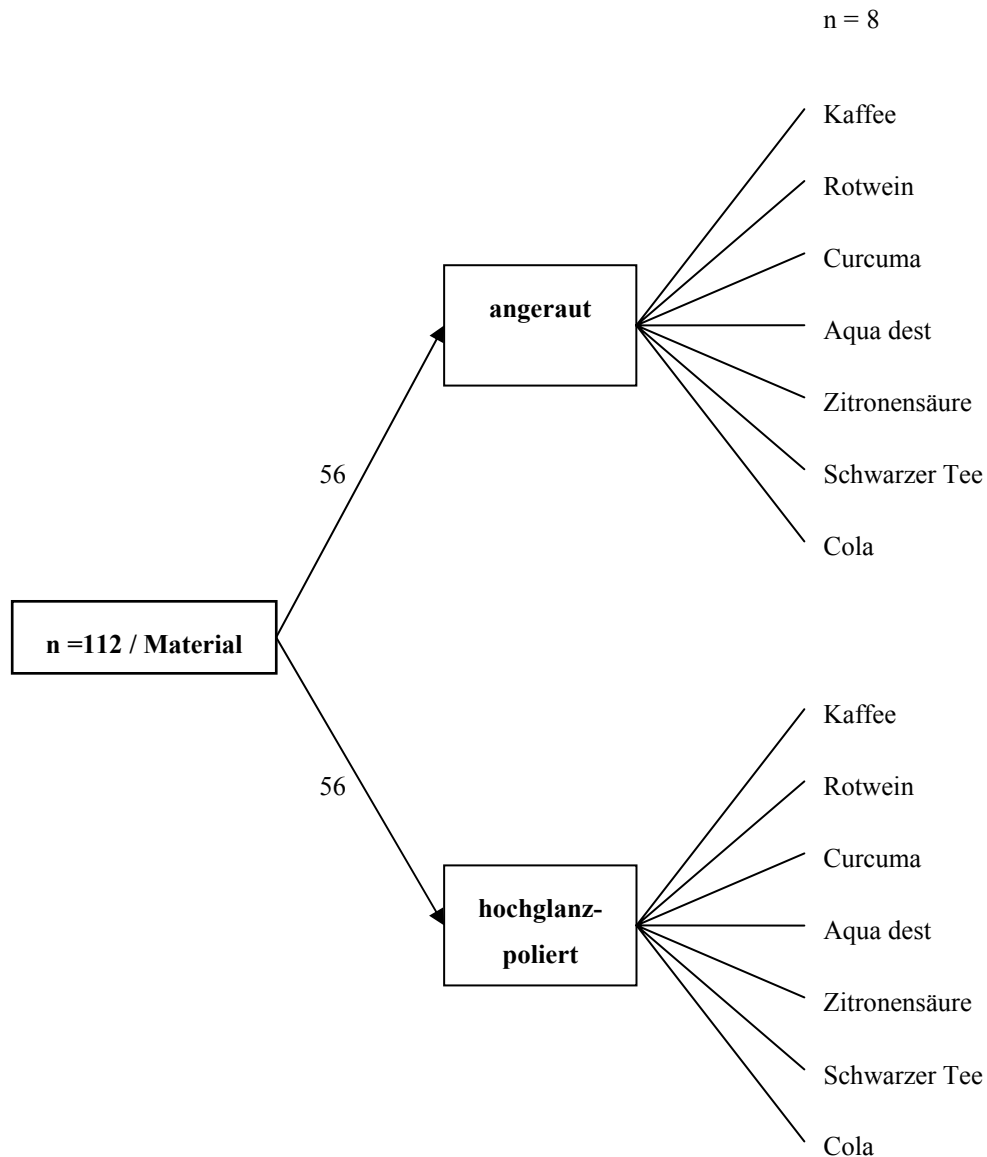


Abb. 6.1: Schema zum Versuchskonzept

6.2.2 Prüfkörperherstellung

Die Prüfkörperherstellung wurde in Anlehnung an die EN ISO 4049², durchgeführt. Die Prüfkörper wurden bei einer Raumtemperatur von 23 ± 1 °C und einer Luftfeuchtigkeit von mindestens $50 \pm 10\%$ hergestellt.

Die Prüfkörper wurden nach einem standardisierten Verfahren hergestellt (8 Prüfkörper je Material, Oberfläche und Lagerbedingung).

Zur Bestimmung der Farbbeständigkeit temporärer K&B-Werkstoffe wurden plane Probekörper hergestellt. Die Probekörper waren kreisrund mit einem Durchmesser von 20 mm und $1 \pm 0,1$ mm Dicke. Zur Herstellung der Proben diente eine teilbare Form aus rostfreiem Edelstahl (Robitec, Usingen, D), in die auf beiden Seiten eine Hostaphanfolie (Typ: RN50, Pütz-Folien, Taunusstein Wehen, D) eingelegt worden war. Die Hostaphanfolie diente zur besseren Entformbarkeit der Plättchen. Zwischen die Metallplatten wurde eine Form mit vier Inlets und Abflussrillen in alle Richtungen gelegt (Abb. 6.2). Eine der Metallplatten enthielt zwei Führungsstifte, welche in die Bohrungen der anderen Metallplatte griff. Somit konnten die Metallplatten stets direkt und spaltfrei aufeinander gesetzt werden.



Abb. 6.2: Prüfkörperform ohne obere Metallplatte

Auf eine der Metallplatten wurde ein Stück Hostaphanfolie gelegt. Auf die Hostaphanfolie wurde nun die Form mit den vier Inlets gelegt.

Die Materialien wurden dazu gemäß Herstellerangaben im korrekten Anmischverhältnis von Pulver : Flüssigkeit (Dentalon Plus 2 g : 1,2 ml) in einem Resin-Mixbecher (Scheu Dental, Iserlohn, Deutschland) angemischt. Bei Paste/Paste Systemen, die in Automischkartuschen angeboten werden, wurde das Probematerial nach Aufsetzen des Mixing – Tips ausgebracht. Es wurde zunächst etwas Material auf einem Anmischblock vorgelegt, um sicher zu gehen, dass die Mischung von Basis- und Katalysatorpaste ordnungsgemäß ist. Anschließend ist die angemischte Paste blasenfrei in die Prüfkörperform eingefüllt worden. Das Material wurde mit geringem Überschuss eingebracht. Eine zweite Hostaphanfolie wurde auf den applizierten Kunststoff gelegt, so konnte nun das applizierte Material gleichmäßig und blasenfrei in den Inlets verteilt werden (Abb. 6.3).

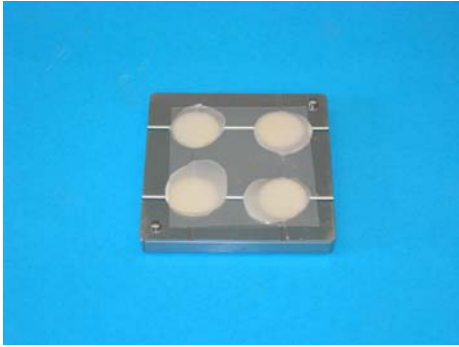


Abb. 6.3: Kunststoff blasenfrei in der Form

Die Folie auf dem temporären K&B-Werkstoff wurde nun mit der zweiten Metallplatte bedeckt, wodurch überschüssiges Material abfließen konnte.

In einer Wassermann-Küvetten-Pressen (Typ WW-33, Fa. Wassermann, Hamburg, D) wurde für 1 min bei einem Druck von 2 bar der überschüssige temporäre K&B-Werkstoff herausgepresst ([Abb. 6.4](#)).



Abb. 6.4: Form in Küvettenpresse

Die Metallplattenform wurde aus der Presse entnommen und die Prüfkörper wurden zur Polymerisation 10 min (Dentalon 15 min) im Wärmeschrank bei $37 \pm 1^\circ\text{C}$ gelagert.

Nach der Polymerisation wurde die Abdeckplatte inkl. der Hostaphanfolie entfernt. Die Prüfkörper wurden aus der Prüfkörperform entnommen ([Abb. 6.5](#)).

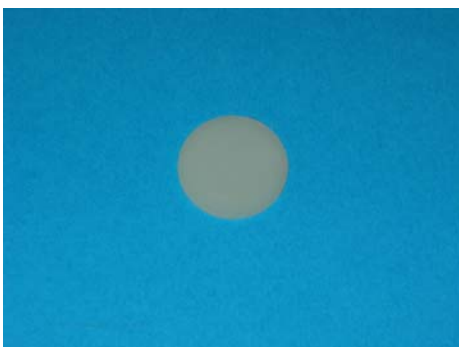


Abb. 6.5: Fertiggestellter Prüfkörper

Grobe Überschüsse wurden mit einem scharfen Skalpell entfernt. Die Metallplatten und die Form wurden mit Aceton von dem überschüssigen Kunststoff gereinigt.

6.2.3 Oberflächenbearbeitung

Pro Material wurden die 120 Disks für die Oberflächenbearbeitung in 2 verschiedene Gruppen eingeteilt ([Abb. 6.1](#)):

- Grobe Ausarbeitung = 320 grit Schleifpapier für 25 s
- Feine Ausarbeitung = 320 grit + 800 grit + Diamantpaste (Luminescence, Abrasive Technology, Lewis Center, Ohio USA)

Um die grobe Oberfläche zu erreichen, wurde eine rotierende Sandpapierscheibe bei 2000 u/min mit der Körnung 320 grit, Abrasive Paper Disc (Leco Corporation, USA) unter Wasserberieselung verwendet und jeder Probekörper 25 s beschliffen.

Für die feine Ausarbeitung der Probekörper wurde zuerst, wie im vorhergehenden Absatz beschrieben, die grobe Oberfläche geschaffen. Danach wurde die entstandene Rauheit der Oberfläche, mit dem gleichen Verfahren wie 320 grit, mit einer rotierenden, nassen Sandpapierdisk mit 800 grit für ebenfalls 25 s ausgearbeitet. Abschließend kam die Diamantpaste zum Einsatz, jeder Probekörper, der Gruppe feine Ausarbeitung, wurde mit einem Wollschwabbel im Handstück bei 5000 u/min mit jeweils 30 kreisenden Bewegungen mit Luminescence auf Hochglanz poliert.

6.2.4 Anordnung der Probekörper

Die Probekörper wurden nach der Oberflächenbearbeitung an den Außenseiten mit kleinen Löchern versehen. Die Löcher dienten dazu, um die Probekörper zwischen Holzkugeln an einem gebogenen Draht aufzufädeln ([Abb. 6.6](#)). Die Holzkugeln wiederum hatten die Aufgabe, die Probekörper mit einem definierten Abstand voneinander zu trennen. So konnte sichergestellt werden, dass die Farblösung die Probekörperoberfläche gleichermaßen umspült. Würden die Proben in einem Glas liegen, würden entweder Probekörper voneinander überdeckt werden oder eine Seite der Probe würde auf dem Glasboden liegen.



Abb. 6.6: Probekörper aufgefädelt

6.2.5 Lagerung der Probekörper

Die Probekörper wurden bis zum Einlegen in die Farblösung dunkel, trocken und bei Raumtemperatur gelagert. Somit konnte ausgeschlossen werden, dass die Ausgangsfarbe der Materialien nicht durch das Laborlicht oder durch Sonnenbestrahlung verändert wurde.

6.2.6 Lagerungszeiten und Farbmessung

Alle Probekörper wurden vor der Farbbeständigkeitsuntersuchung für 24 h bei 37°C im Wasserbad gelagert.

Um die Farbveränderung beobachten zu können, wurde bei sämtlichen Proben eine Ausgangsmessung nach dem Wasserbad durchgeführt.

Vor jeder Messung wurden die nassen Prüfkörper zwischen Filterpapierbögen (Tork Advanced, Hand Towel Green) getrocknet. Entsprechend der Gravur ([Anhang – Kapitel 11.1](#)) geordnet, konnte jede Probengruppe dann von eins bis acht vermessen werden ([Abb. 6.7](#)). Die Messung erfolgte immer mit weißem Hintergrund.

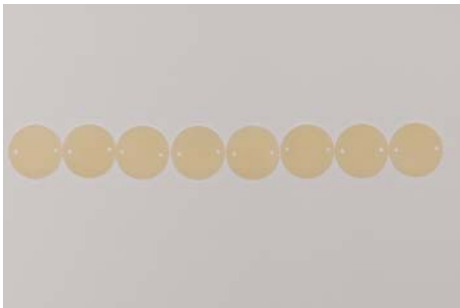


Abb. 6.7: Probekörper von eins bis acht geordnet

Um die Veränderung der optischen Eigenschaften der Proben genau zu verfolgen, fand die zweite Messung bereits nach 1 h Lagerung in der Farblösung statt. Die Proben wur-

den für eine Stunde in der Farblösung und danach für 23 h in Aqua dest in einem Wärmeschränk bei 37 °C im Dunkeln gelagert. Nun wurde für sieben Tage täglich nach 1 h Farblösung ausgemessen. Danach wurden die Proben für jeweils 48 h in die Farblösung gelegt und danach vermessen.

Nun folgten nochmals 24 h Farblösung um ein weiteres Ergebnis nach 48 h plus 24 h zu erhalten. Dementsprechend entstand der Messzeitpunkt nach 72 h.

Die Farblösungen standen immer im Wärmeschränk bei 37°C. Die Lösung wurde alle drei Tage erneuert.

Die letzte Messung erfolgte nach einem Thermowechselbad (Typ: 10690, Willytec, München, D, 5000 Zyklen $5^{\circ} \pm 55^{\circ}$ C Aqua dest).

Zur Bestimmung der Farbveränderungen wurde das Farbmessgerät DSG 4 *Plus*® ([Abb. 6.8](#)) der Firma Rieth in Schwäbisch Gmünd verwendet.



Abb. 6.8: DSG 4 *Plus*

Das DSG 4 *Plus*® ist ein computergestütztes Instrument. Es besteht aus einer Auswerteinheit, die an einem PC angeschlossen wird.

Auf dem Bildschirm des Computers ([Abb. 6.9](#)) erschien eine Praxis- und Patientenmaske, in der optional Daten eingegeben werden konnten.

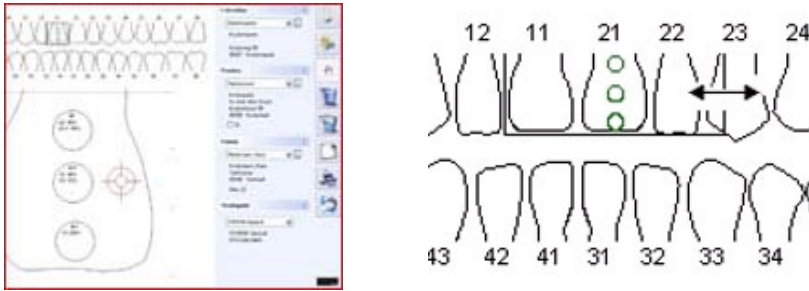


Abb. 6.9: Bildschirmanzeige des DSG 4

Vor jeder Messung musste die exakte Messposition auf dem Zahn angegeben werden. Es wurde stets das Zentrum des Zahnes als Messposition gewählt.

Vor der Messung erfolgte die Kalibrierung mit Hilfe einer DSG 4 *Plus*®-Kalibrierkeramik.

Nach der abgeschlossenen Kalibrierung wurde vor jeder Messung die Spitze der Messsonde in Messöl getaucht, so dass ein Tropfen an der Messeinheit hängen blieb ([Abb. 6.10](#)). Dieser Tropfen diente dazu, den Spalt zwischen Messsonde und Probekörper zu schließen.



Abb. 6.10: Messsonde mit einem Tropfen Messöl

Die Spitze wurde dabei rechtwinklig mit direktem Kontakt auf den Prüfkörper aufgesetzt ([Abb. 6.11](#)), erst dann wurde die Messung mittels Fußschalter oder der Tastatur ausgelöst. Pro Probekörper wurden fünf Messungen durchgeführt.



Abb. 6.11: Messsonde rechtwinklig auf Probekörper aufgesetzt

An der kreisförmigen Spitze der Messsonde befand sich ein heller Ring, von dem ein Licht ausgesendet und von dem Probekörper reflektiert wurde. Der dunkle Bereich im Inneren des Ringes nimmt das reflektierte Licht auf und leitete es weiter zur Auswerteinheit.

Der an das Farbmessgerät angeschlossene PC errechnete aus den gemessenen Reflexionswerten die CIELAB-Werte und speicherte sie mit den dazugehörigen Messungen ab.

Nach diesen vorgegeben Arbeitsschritten wurden die Versuchsreihen durchgeführt.

Die gewonnenen Ergebnisse erschienen in der Ausgabemaske der DSG 4 Plus® Software und wurden zur späteren Analyse mittels eines Tools nach Excel exportiert.

6.2.7 Reproduzierbarkeit des Farbmessgerätes DSG 4 Plus®

Die Reproduzierbarkeit des verwendeten Farbmessgerätes DSG 4 Plus® wurde im Rahmen der Vorversuche untersucht.

Dazu wurden aus einem temporären K&B-Material drei Probekörper hergestellt. Die Herstellung erfolgte ebenso wie in [Kapitel 6.2.2](#) beschrieben. Diese drei Probekörper hatten unterschiedliche Farben. So wurden ein heller (Vita A1), ein etwas dunklerer (Vita A3) und ein ganz dunkler Probekörper (Vita B4) angefertigt. Die Farbe dieser drei Probekörper wurde zwanzigmal mit dem Farbmessgerät DSG 4 Plus® bestimmt.

Aus diesen 20 Messungen erhielt man jeweils zwanzig L-, a- und b-Werte pro Probekörper. Daraus konnten, mit den Mittelwerten als Bezug, die ΔE -Werte berechnet werden. Aus den ΔE -Werten konnten Mittelwert und Standardabweichung bestimmt werden ([Tabelle 6.3](#)).

Tabelle 6.3: Mittelwerte und Standardabweichungen zur Überprüfung der Reproduzierbarkeit von DSG 4 Plus®

Probekörperfarbe	Mean $\Delta E \pm SD$
hell (Vita A1)	$0,3 \pm 0,08$
mittel (Vita A3)	$0,3 \pm 0,11$
dunkel (Vita B4)	$0,2 \pm 0,15$

Damit liegt die Messgenauigkeit des Farbmessgerät DSG 4 Plus® bei etwa $\pm 0,3 \Delta E$.

6.3 Wahrnehmungsgrenzen von ΔE -Werten

Für das menschliche Auge wahrnehmbare ΔE -Werte wurden von verschiedenen Autoren differenziert beschrieben. Seghi *et al.*¹⁰⁷ beschreibt ΔE -Werte von 1 bis 2 als „visuell wahrnehmbar“. Cross *et al.*²³ wiederum besagt ΔE -Werte von 0 bis 2 als „nicht oder nur gering wahrnehmbar“ und ΔE -Werte von 2 bis 3 als „gerade wahrnehmbar“. Ebenso auch Cross *et al.*²³, Seher *et al.*¹⁰⁸ und Eldiwany *et al.*³¹ beschreiben ΔE -Werte von 2 bis 3 als „gerade wahrnehmbar“. Ruyter *et al.*⁹⁹ und Schulze *et al.*¹⁰⁴ beschreiben $\Delta E \geq 3,3$ als deutlich wahrnehmbar.

Viele Studien unterscheiden zwischen klinisch akzeptablen und klinisch unakzeptablen ΔE -Werten. So werden Werte als klinisch unakzeptabel betrachtet wenn $\Delta E \geq 3,3$ ^{27, 42, 73, 99, 104, 116, 118} oder $\Delta E \geq 3,7$ ^{49, 53, 97, 98, 134} erreicht und überschritten werden.

Jedoch ist es von Bedeutung, in welchem Bereich der Mundhöhle die temporäre Restauration lokalisiert ist. Befindet sich eine temporäre K&B-Versorgung im Frontzahn- oder vorderen Seitenzahnbereich, können bereits wahrgenommene Farbveränderungen ($\Delta E \geq 2,0$) eine Erneuerungsbedürftigkeit der Versorgung nach sich ziehen. Somit wäre bereits eine Grenze von $\Delta E \geq 2,0$ klinisch unakzeptabel. Wobei eine temporäre K&B-Restauration im hinteren, nicht sichtbaren Seitenzahnbereich mit geringfügigen Farbveränderungen ($\Delta E \geq 2,0$) dem Patienten nicht auffällt und belassen werden könnte.

In der vorliegenden Arbeit soll zwischen einer „geringfügig wahrnehmbaren Farbveränderung“ von $\Delta E \geq 2,0$ und einer „deutlich wahrnehmbaren Farbveränderung“ von $\Delta E \geq 3,3$ unterschieden werden.

6.4 Statistische Auswertung

Die gemessenen L^{*}-, a^{*}- und b^{*}-Werte konnten in Excel weiterbearbeitet werden. Zuerst wurden die fünf L^{*}-, a^{*}- und b^{*}-Werte pro Probekörper zu einem L^{*}-Mittelwert, a^{*}-Mittelwert und b^{*}-Mittelwert zusammengefasst und die Standardabweichung berechnet. Aus diesen Mittelwerten konnte ΔE ([Kapitel 3.2.3](#)) berechnet werden.

Zur Durchführung der statistischen Auswertung wurde die SPSS Software, Version 17.03 (SPSS GmbH Software, München, Deutschland) verwendet.

6.4.1 Datendesign

Die vorliegende Studie umfasste 480 Messreihen, davon jeweils 240 Messreihen polierter bzw. mit rauer Oberfläche. Jede dieser beiden Gruppen wurde weiter unterteilt nach sechs Farblösungen als Lagermedium und nach fünf temporären K&B-Materialien mit jeweils gleicher Fallzahl. Auf jede Teilgruppe gleicher Oberfläche, Farblösung und gleichen Materials entfielen somit $240 / 6 / 5 = 8$ Messreihen.

Jede Messreihe umfasste 10 Messwerte nach verschiedenen Lagerungszeiten in einer Farblösung und zusätzlich einen gesetzten Ausgangswert vor Lagerungsbeginn. Panelmortalität fand nicht statt, d.h. jede Messreihe war vollständig, es fehlten keine Messwerte. Aufgrund dieses perfekt balancierten Datendesigns zu jedem Messzeitpunkt brauchte Normalverteilung nicht sichergestellt werden.^{12, 37, 117} Auf entsprechende Tests konnte daher durchweg verzichtet werden.

Im Einzelnen ist folgende Ergebnisdarstellung bzw. -analyse vorgesehen:

1. Selektion: Alle Messreihen mit Ausnahme der Lagerung unter Thermowechselbelastung (TWB), d.h. sieben Farblösungen und jeweils neun subsequeute Verfärbungsmessungen vorerst unabhängig von der Oberfläche übersichtlich darstellen; Darstellung: Verfärbung in Abhängigkeit vom Material und von der Farblösung.
2. Selektion: Farbzustand zu drei verschiedenen Beobachtungszeitpunkten (4 h, 72 h und 168 h TWB); Analyse: Verfärbung in Abhängigkeit von Material, Farblösung und Oberfläche, wobei die Messreihen zur Farblösung Curcuma außen vor bleiben, da diese in kurzer Zeit zu extremen Verfärbungen geführt hat.

3. Selektion: Die beiden längsten Lagerungszeiten: 72 h und 168 h TWB; Analyse: Verfärbung in Abhängigkeit von TWB, Material, Farblösung und Oberfläche. Auch hier bleibt die Farblösung Curcuma aus o.g. Grund außen vor.

6.4.2 Varianzanalyse

Es erfolgte die Prüfung auf Varianzhomogenität mit dem Levene Test ($p = 0,05$). Da nicht für alle Gruppen Varianzhomogenität gegeben war, wurde als Anschluss test der Games-Howell Test ($p = 0,05$) und im anderen Fall der Tukey Test angewendet ($p = 0,05$).

6.4.3 Übersichtsdarstellung der Farbänderung

Zu Beginn des Ergebnisteils wurde eine Doppeldarstellung der Ergebnisse gewählt:

Zum einen wurden die fünf temporären K&B-Materialien einzeln in den jeweiligen Farblösungen tabellarisch dargestellt. Dies diente zur Verdeutlichung der Farbveränderung des jeweiligen temporären K&B-Materials.

Zum anderen wurden alle fünf temporären K&B-Materialien in der einzelnen Farblösung grafisch dargestellt, um das Verhalten der verschiedenen temporären K&B-Materialien in einer Farblösung darzustellen.

7 Ergebnisse

7.1 Übersichtsdarstellung der Farbänderung in Abhängigkeit vom temporären K&B-Material und in Abhängigkeit von der Farblösung

Die folgenden Tabellen und Grafiken geben die ermittelten Ergebniswerte in ΔE -Werten an.

Um einen ersten Eindruck über die Veränderung des Farbzustandes zu erhalten, wurde in diesem Kapitel auf eine Unterteilung nach den jeweiligen Oberflächen verzichtet. Die Kapitel 7.2 und 7.3 analysieren den Einfluss der Oberfläche auf die Farbveränderung.

7.1.1 Verwendete Farbdifferenz

Für Farbdifferenzen als euklidischer Abstand der $L^*a^*b^*$ -Werte wird die in der folgenden Tabelle ([Tabelle 7.1](#)) benannte Beurteilung verwendet.

Tabelle 7.1: visuelle Einteilung der ΔE -Werte

ΔE	Bewertung
$\Delta E \geq 2,0$	geringfügig wahrnehmbare Farbveränderung
$\Delta E \geq 3,3$	deutlich wahrnehmbare Farbveränderung

7.1.2 Farbänderung der temporären K&B-Materialien

Die [Tabellen 7.2 – 7.6](#) zeigen die einzelnen temporären K&B-Materialien mit den ΔE -Werten zu den unterschiedlichen Lagerzeiten in den Farblösungen.

In den Lösungen Aqua dest, Coca Cola® und Zitronensäure zeigten *Dentalon Plus*, *Luxatemp AM Plus*, *PreVISION CB* und *Structur Premium* eine hohe Farbstabilität. Bei *Protemp 3 Garant* konnten ebenfalls in Aqua dest und Zitronensäure keine Farbveränderung festgestellt werden, jedoch ab 4 h Lagerungszeit traten in Coca Cola® geringfügig wahrnehmbare Farbveränderungen auf ([Tabelle 7.5](#)).

Die geringste Farbstabilität war in der Lösung Kaffee zu sehen. Bei den temporären K&B-Materialien *Luxatemp AM Plus*, *PreVISION CB*, *Protemp 3 Garant* und *Structur*

Premium waren bereits nach 1 h Lagerung deutlich wahrnehmbare ΔE -Werte messbar. *Dentalon Plus* wies bis zu 72 h Lagerungszeit in Kaffee nur geringe Verfärbungen auf. Erst bei der 72 h – Messung traten auch bei *Dentalon Plus* deutliche Verfärbungen auf.

Bei der Lagerung in Rotwein traten bei allen fünf temporären K&B-Materialien ab 4 h Lagerungszeit deutlich wahrgenommene Verfärbungen auf.

Bei der Lagerung in Tee traten bei allen temporären K&B-Materialien bereits nach 2 - 3 h geringe Verfärbungen auf, die nach 48 – 72 h in deutliche Verfärbungen übergingen.

Dentalon Plus

Tabelle 7.2: Mittelwerte und Standardabweichungen der ΔE -Werte von *Dentalon Plus* zu den unterschiedlichen Lagerzeiten

$n_{\text{pro Farblösung}} = 16 / n_{\text{gesamt}} = 96$

Lager- dauer	$\Delta E \pm SD$ in Aqua dest	$\Delta E \pm SD$ in Coca Cola®	$\Delta E \pm SD$ in Kaffee	$\Delta E \pm SD$ in Rotwein	$\Delta E \pm SD$ in Tee	$\Delta E \pm SD$ in Zitronensäure
1 h	0,8 $\pm$ 0,5	0,9 $\pm$ 0,3	2,6 $\pm$ 1,0	1,7 $\pm$ 0,7	1,6 $\pm$ 1,1	0,8 $\pm$ 0,4
2 h	0,9 $\pm$ 0,4	1,4 $\pm$ 0,5	2,2 $\pm$ 0,8	2,1 $\pm$ 0,7	1,3 $\pm$ 0,7	0,7 $\pm$ 0,3
3 h	1,4 $\pm$ 0,4	1,7 $\pm$ 0,5	3,1 $\pm$ 1,0	2,8 $\pm$ 0,8	2,4 $\pm$ 0,8	1,0 $\pm$ 0,3
4 h	1,2 $\pm$ 0,3	1,7 $\pm$ 0,6	3,1 $\pm$ 0,8	4,6 $\pm$ 0,8	2,7 $\pm$ 1,4	1,1 $\pm$ 0,4
5 h	1,3 $\pm$ 0,4	1,6 $\pm$ 0,4	2,1 $\pm$ 0,6	4,1 $\pm$ 0,8	1,6 $\pm$ 0,5	1,1 $\pm$ 0,6
6 h	1,0 $\pm$ 0,4	1,9 $\pm$ 0,7	2,6 $\pm$ 0,7	4,0 $\pm$ 0,7	2,2 $\pm$ 0,6	1,3 $\pm$ 0,5
7 h	1,3 $\pm$ 0,4	2,2 $\pm$ 0,5	2,4 $\pm$ 0,6	3,4 $\pm$ 0,8	2,5 $\pm$ 0,6	1,6 $\pm$ 0,5
48 h	1,1 $\pm$ 0,5	1,9 $\pm$ 0,6	3,1 $\pm$ 0,8	5,1 $\pm$ 0,9	4,1 $\pm$ 0,7	2,0 $\pm$ 0,4
72h	2,3 $\pm$ 0,4	1,9 $\pm$ 0,5	3,8 $\pm$ 1,1	4,9 $\pm$ 0,8	6,0 $\pm$ 0,6	1,9 $\pm$ 0,3

gelbe Hervorhebung = $\Delta E \geq 2$ geringfügig wahrnehmbare Farbveränderung;

orange Hervorhebung = $\Delta E \geq 3,3$ deutlich wahrnehmbare Farbveränderung

Luxatemp AM Plus**Tabelle 7.3: Mittelwerte und Standardabweichungen der ΔE -Werte von Luxatemp AM Plus zu den unterschiedlichen Lagerzeiten**

$$n_{\text{pro Farblösung}} = 16 / n_{\text{gesamt}} = 96$$

Lager-dauer	$\Delta E \pm SD$ in Aqua dest	$\Delta E \pm SD$ in Coca Cola®	$\Delta E \pm SD$ in Kaffee	$\Delta E \pm SD$ in Rotwein	$\Delta E \pm SD$ in Tee	$\Delta E \pm SD$ in Zitronensäure
1 h	0,7 $\pm$ 0,4	0,9 $\pm$ 0,3	3,9 $\pm$ 0,4	1,5 $\pm$ 0,8	1,1 $\pm$ 0,2	0,7 $\pm$ 0,3
2 h	0,6 $\pm$ 0,1	1,5 $\pm$ 0,4	3,8 $\pm$ 0,4	1,7 $\pm$ 0,8	1,3 $\pm$ 0,5	0,6 $\pm$ 0,1
3 h	0,9 $\pm$ 0,1	1,5 $\pm$ 0,5	4,6 $\pm$ 0,3	2,4 $\pm$ 0,9	2,2 $\pm$ 0,3	0,8 $\pm$ 0,1
4 h	0,7 $\pm$ 0,3	1,7 $\pm$ 0,5	3,8 $\pm$ 0,4	4,3 $\pm$ 0,8	2,2 $\pm$ 0,4	1,2 $\pm$ 0,5
5 h	1,0 $\pm$ 0,2	1,8 $\pm$ 0,5	3,0 $\pm$ 0,3	3,9 $\pm$ 0,9	3,2 $\pm$ 1,4	0,7 $\pm$ 0,2
6 h	1,0 $\pm$ 0,2	2,0 $\pm$ 1,0	3,9 $\pm$ 0,6	4,0 $\pm$ 1,0	1,9 $\pm$ 0,6	0,7 $\pm$ 0,2
7 h	0,7 $\pm$ 0,3	2,4 $\pm$ 0,6	3,9 $\pm$ 0,4	4,2 $\pm$ 0,9	2,6 $\pm$ 0,6	0,7 $\pm$ 0,1
48 h	0,7 $\pm$ 0,3	1,8 $\pm$ 0,5	6,1 $\pm$ 0,7	5,2 $\pm$ 1,1	3,7 $\pm$ 1,3	1,5 $\pm$ 0,1
72 h	1,6 $\pm$ 0,2	2,2 $\pm$ 0,6	8,7 $\pm$ 0,8	7,2 $\pm$ 1,0	6,2 $\pm$ 0,6	1,6 $\pm$ 0,2

gelbe Hervorhebung = $\Delta E \geq 2$ geringfügig wahrnehmbare Farbveränderung;

orange Hervorhebung = $\Delta E \geq 3,3$ deutlich wahrnehmbare Farbveränderung

PreVISION CB**Tabelle 7.4: Mittelwerte und Standardabweichungen der ΔE -Werte von PreVISION CB zu den unterschiedlichen Lagerzeiten**

$$n_{\text{pro Farblösung}} = 16 / n_{\text{gesamt}} = 96$$

Lager-dauer	$\Delta E \pm SD$ in Aqua dest	$\Delta E \pm SD$ in Coca Cola®	$\Delta E \pm SD$ in Kaffee	$\Delta E \pm SD$ in Rotwein	$\Delta E \pm SD$ in Tee	$\Delta E \pm SD$ in Zitronensäure
1 h	0,6 $\pm$ 0,4	0,9 $\pm$ 0,2	6,9 $\pm$ 0,6	1,5 $\pm$ 0,3	1,5 $\pm$ 0,2	0,5 $\pm$ 0,1
2 h	0,7 $\pm$ 0,1	1,6 $\pm$ 0,4	6,7 $\pm$ 0,6	2,0 $\pm$ 0,3	1,8 $\pm$ 0,3	0,6 $\pm$ 0,2
3 h	1,0 $\pm$ 0,2	1,5 $\pm$ 0,2	7,0 $\pm$ 0,8	2,9 $\pm$ 0,4	2,9 $\pm$ 0,2	0,8 $\pm$ 0,2
4 h	0,9 $\pm$ 0,2	1,7 $\pm$ 0,3	6,4 $\pm$ 0,7	4,9 $\pm$ 0,4	2,8 $\pm$ 0,9	1,1 $\pm$ 0,3
5 h	1,0 $\pm$ 0,2	1,8 $\pm$ 0,2	6,0 $\pm$ 0,6	4,3 $\pm$ 0,4	2,6 $\pm$ 0,3	0,6 $\pm$ 0,2
6 h	1,0 $\pm$ 0,2	1,8 $\pm$ 0,2	7,3 $\pm$ 0,8	4,8 $\pm$ 0,4	3,1 $\pm$ 0,4	0,5 $\pm$ 0,2
7 h	0,6 $\pm$ 0,3	2,2 $\pm$ 0,3	7,4 $\pm$ 0,7	4,6 $\pm$ 0,5	3,9 $\pm$ 0,4	0,5 $\pm$ 0,1
48 h	0,7 $\pm$ 0,2	1,8 $\pm$ 0,4	11,9 $\pm$ 1,3	7,3 $\pm$ 0,7	6,9 $\pm$ 0,6	1,6 $\pm$ 0,2
72 h	1,8 $\pm$ 0,1	2,0 $\pm$ 0,3	16,3 $\pm$ 1,1	11,3 $\pm$ 1,0	9,0 $\pm$ 0,7	1,6 $\pm$ 0,1

gelbe Hervorhebung = $\Delta E \geq 2$ geringfügig wahrnehmbare Farbveränderung;

orange Hervorhebung = $\Delta E \geq 3,3$ deutlich wahrnehmbare Farbveränderung

Protemp 3 Garant**Tabelle 7.5: Mittelwerte und Standardabweichungen der ΔE -Werte von *Protemp 3 Garant* zu den unterschiedlichen Lagerzeiten**

$$n_{\text{pro Farblösung}} = 16 / n_{\text{gesamt}} = 96$$

Lager-dauer	$\Delta E \pm SD$ in Aqua dest	$\Delta E \pm SD$ in Coca Cola®	$\Delta E \pm SD$ in Kaffee	$\Delta E \pm SD$ in Rotwein	$\Delta E \pm SD$ in Tee	$\Delta E \pm SD$ in Zitronesäure
1 h	1,2 $\pm$ 0,2	1,1 $\pm$ 0,3	6,4 $\pm$ 1,8	1,7 $\pm$ 0,9	1,5 $\pm$ 0,3	0,8 $\pm$ 0,2
2 h	0,9 $\pm$ 0,2	1,5 $\pm$ 0,3	5,6 $\pm$ 1,2	1,9 $\pm$ 1,0	2,0 $\pm$ 0,5	0,7 $\pm$ 0,2
3 h	1,5 $\pm$ 0,3	1,7 $\pm$ 0,2	6,4 $\pm$ 1,8	2,8 $\pm$ 1,4	2,5 $\pm$ 0,7	1,1 $\pm$ 0,2
4 h	1,0 $\pm$ 0,4	2,0 $\pm$ 0,3	5,6 $\pm$ 1,2	4,9 $\pm$ 1,5	2,6 $\pm$ 0,7	0,9 $\pm$ 0,2
5 h	1,4 $\pm$ 0,4	2,3 $\pm$ 0,3	5,3 $\pm$ 2,4	4,1 $\pm$ 1,4	2,3 $\pm$ 0,4	0,8 $\pm$ 0,2
6 h	1,7 $\pm$ 0,2	2,1 $\pm$ 0,2	6,2 $\pm$ 1,7	4,5 $\pm$ 1,2	3,1 $\pm$ 0,6	1,0 $\pm$ 0,3
7 h	1,3 $\pm$ 0,3	2,8 $\pm$ 0,4	5,8 $\pm$ 1,4	5,3 $\pm$ 0,6	3,8 $\pm$ 0,6	1,3 $\pm$ 0,3
48 h	1,7 $\pm$ 0,4	2,7 $\pm$ 0,6	9,0 $\pm$ 2,1	7,1 $\pm$ 1,5	5,8 $\pm$ 0,8	1,3 $\pm$ 0,2
72 h	1,7 $\pm$ 0,3	2,7 $\pm$ 0,5	11,7 $\pm$ 1,7	11,2 $\pm$ 2,0	7,7 $\pm$ 1,2	1,6 $\pm$ 0,2

gelbe Hervorhebung = $\Delta E \geq 2$ geringfügig wahrnehmbare Farbveränderung;

orange Hervorhebung = $\Delta E \geq 3,3$ deutlich wahrnehmbare Farbveränderung

Structur Premium**Tabelle 7.6: Mittelwerte und Standardabweichungen der ΔE -Werte von *Structur Premium* zu den unterschiedlichen Lagerzeiten**

$$n_{\text{pro Farblösung}} = 16 / n_{\text{gesamt}} = 96$$

Lager-dauer	$\Delta E \pm SD$ in Aqua dest	$\Delta E \pm SD$ in Coca Cola®	$\Delta E \pm SD$ in Kaffee	$\Delta E \pm SD$ in Rotwein	$\Delta E \pm SD$ in Tee	$\Delta E \pm SD$ in Zitronesäure
1 h	1,0 $\pm$ 0,4	0,8 $\pm$ 0,1	4,8 $\pm$ 0,6	2,2 $\pm$ 0,9	1,3 $\pm$ 0,2	0,6 $\pm$ 0,2
2 h	0,6 $\pm$ 0,2	1,7 $\pm$ 0,4	4,6 $\pm$ 0,6	2,1 $\pm$ 1,4	1,5 $\pm$ 0,3	0,6 $\pm$ 0,2
3 h	0,8 $\pm$ 0,2	1,3 $\pm$ 0,2	5,2 $\pm$ 0,6	3,0 $\pm$ 1,5	2,4 $\pm$ 0,2	0,9 $\pm$ 0,2
4 h	0,6 $\pm$ 0,3	1,6 $\pm$ 0,2	4,3 $\pm$ 0,5	5,1 $\pm$ 1,4	2,2 $\pm$ 0,8	0,9 $\pm$ 0,2
5 h	1,1 $\pm$ 0,2	1,6 $\pm$ 0,2	3,9 $\pm$ 0,5	4,5 $\pm$ 1,5	2,2 $\pm$ 0,4	0,6 $\pm$ 0,1
6 h	1,2 $\pm$ 0,2	1,8 $\pm$ 0,5	5,0 $\pm$ 0,6	4,5 $\pm$ 1,5	2,7 $\pm$ 0,2	0,6 $\pm$ 0,1
7 h	0,7 $\pm$ 0,3	2,1 $\pm$ 0,3	4,9 $\pm$ 0,6	5,0 $\pm$ 0,6	3,3 $\pm$ 0,2	0,7 $\pm$ 0,1
48 h	0,8 $\pm$ 0,3	1,9 $\pm$ 0,4	8,2 $\pm$ 0,8	6,4 $\pm$ 1,8	5,2 $\pm$ 0,4	1,7 $\pm$ 0,2
72 h	1,6 $\pm$ 0,3	1,8 $\pm$ 0,2	12,0 $\pm$ 0,8	12,0 $\pm$ 2,3	6,9 $\pm$ 0,5	1,7 $\pm$ 0,2

gelbe Hervorhebung = $\Delta E \geq 2$ geringfügig wahrnehmbare Farbveränderung;

orange Hervorhebung = $\Delta E \geq 3,3$ deutlich wahrnehmbare Farbveränderung

7.1.3 Farbänderung durch verfärbende Lösungen

Die folgenden Abbildungen zeigen das Verhalten der fünf temporären K&B-Materialien in der jeweiligen Lösung.

Farbveränderungen durch Aqua dest

Die Abb. 7.1 zeigt, dass alle Materialien über den gesamten Lagerungszeitraum keine wahrgenommenen Farbveränderungen ($\Delta E < 2,0$) aufweisen.

Lediglich *Dentalon Plus* zeigt nach der 72 h – Messung gering wahrnehmbare Verfärbungen.

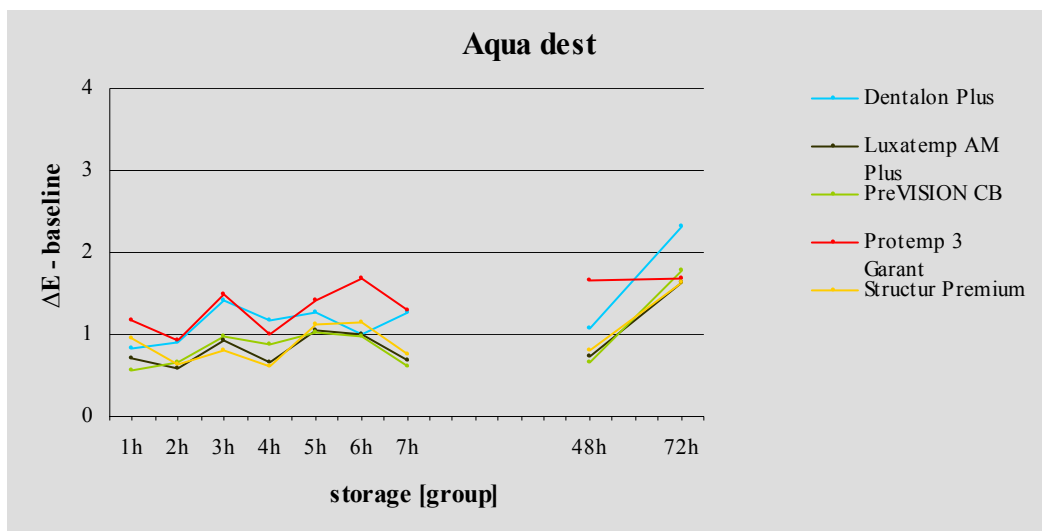


Abb. 7.1: Farbänderung ΔE in Aqua dest

Farbveränderungen durch Coca Cola®

Aus der Abb. 7.2 geht hervor, dass *Protemp 3 Garant* nach 4 h gering wahrnehmbare Verfärbungen aufweist.

Nach der 7 h – Messung weisen alle Materialien geringfügige Verfärbungen auf, welche sich jedoch bei *Dentalon Plus* und *Structur Premium* nach 72 h wieder unterhalb $\Delta E = 2$ reduzieren.

Luxatemp AM Plus und *Protemp 3 Garant* liegen bei der 72 h - Messung mit den ΔE -Werten oberhalb von 2,0.

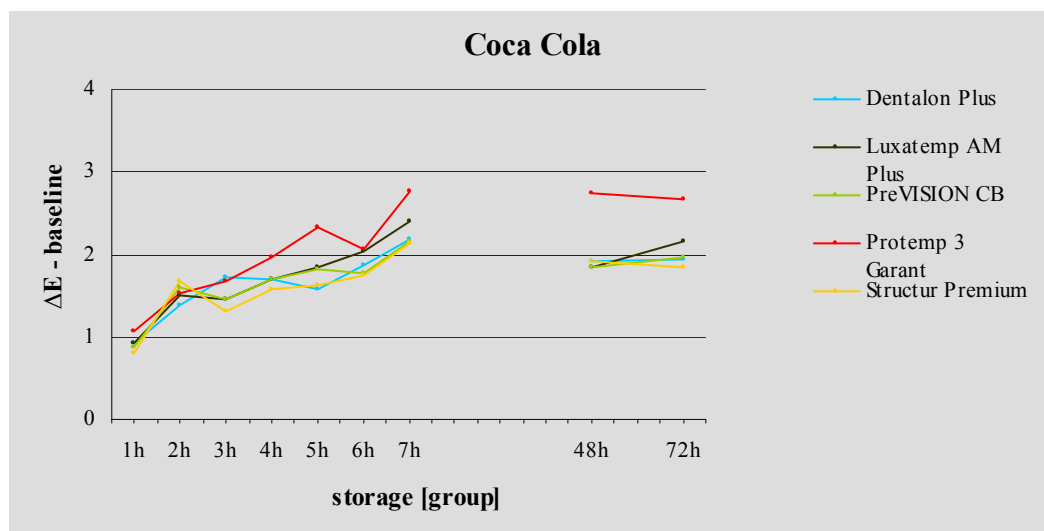


Abb. 7.2: Farbänderung ΔE in Coca Cola®

Farbveränderungen durch Curcuma

Die Abb. 7.3 zeigt das Verhalten der fünf überprüften temporären K&B-Materialien in der Lösung Curcuma.

Die Farblösung Curcuma verfärbte alle fünf temporären K&B-Materialien bereits nach 1h Lagerung so stark, dass ΔE -Werte weit oberhalb von 3,3 resultierten.

Einige Probekörper waren bereits nach der 1h-Lagerung nicht mehr messbar. Die Probekörper wurden danach nur noch in Aqua dest gelagert und ausgemessen, um zu sehen ob sich die enorme Verfärbung eventuell wieder reduziert.

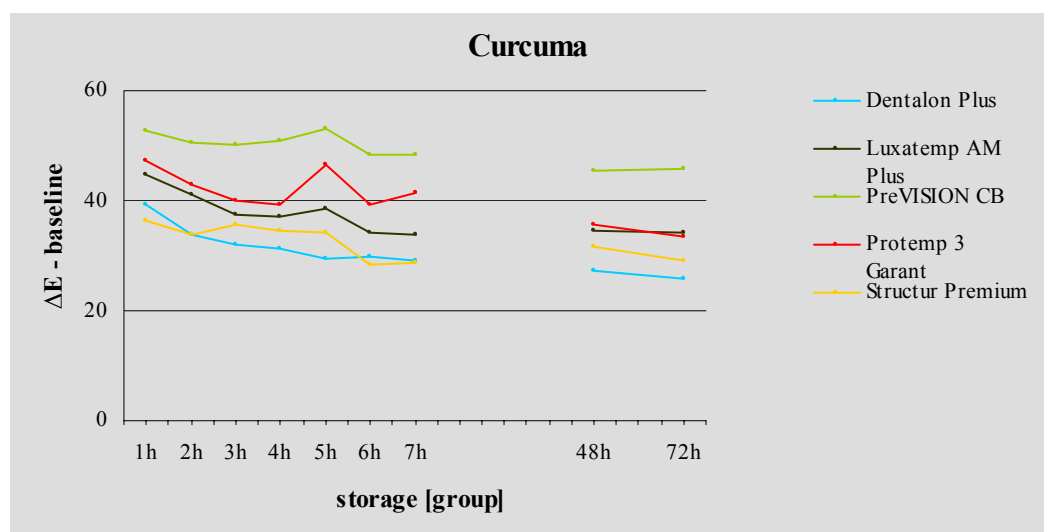


Abb. 7.3: Farbänderung ΔE in Curcuma

Farbveränderungen durch Kaffee

Die Abb. 7.4 zeigt das Verhalten der fünf überprüften temporären K&B-Materialien in der Lösung Kaffee.

Das temporären K&B-Materialien *Dentalon Plus* zeigt im Vergleich zu den anderen Materialien die geringsten ΔE -Werte, weist aber trotzdem deutlich wahrnehmbare Verfärbungen auf.

Die anderen temporären K&B-Materialien zeigen bereits nach der 1 h – Messung deutlich wahrnehmbare Verfärbungen, die über den Lagerungszeitraum hinweg zunehmen.

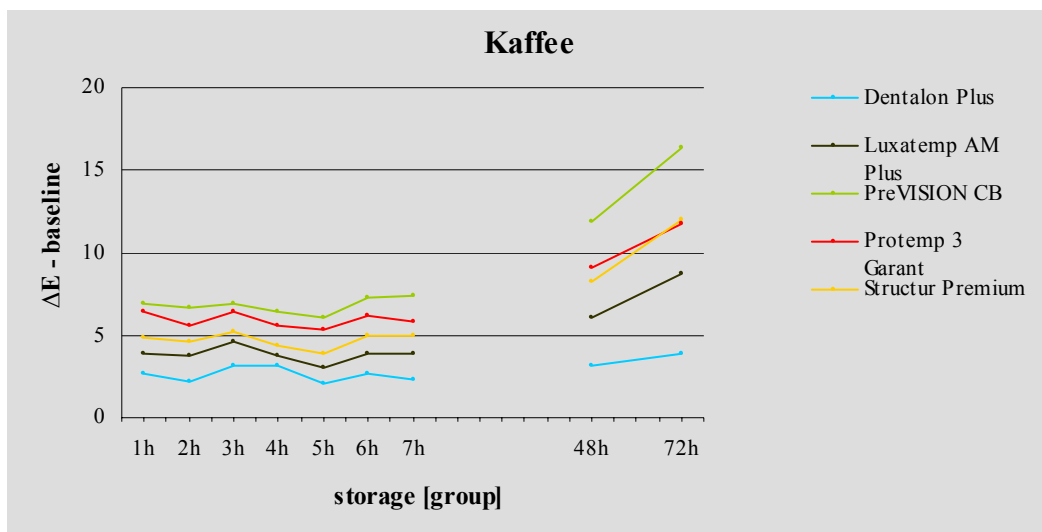


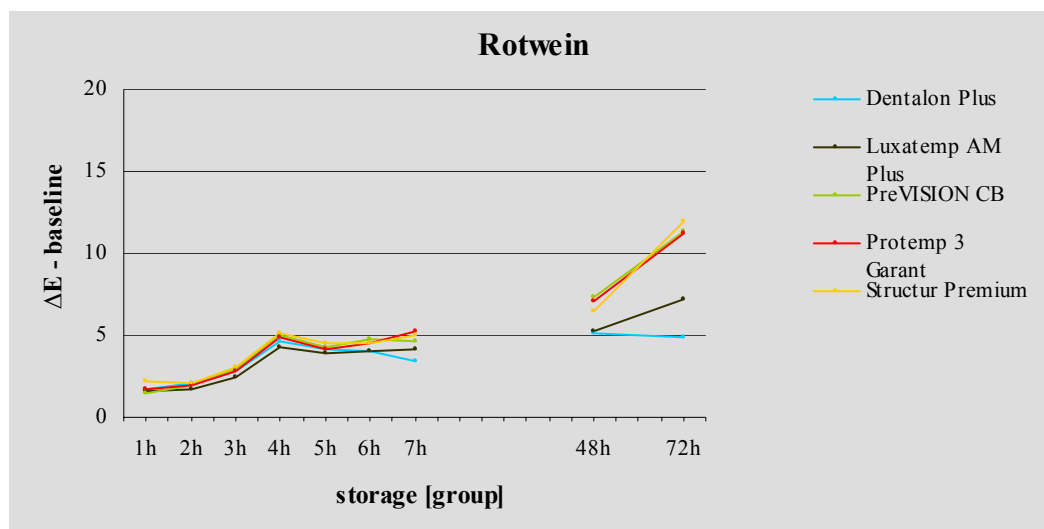
Abb. 7.4: Farbänderung ΔE in Kaffee

Farbveränderungen durch Rotwein

In der Abb. 7.5 zeigt das Verhalten der fünf überprüften temporären K&B-Materialien in der Lösung Rotwein.

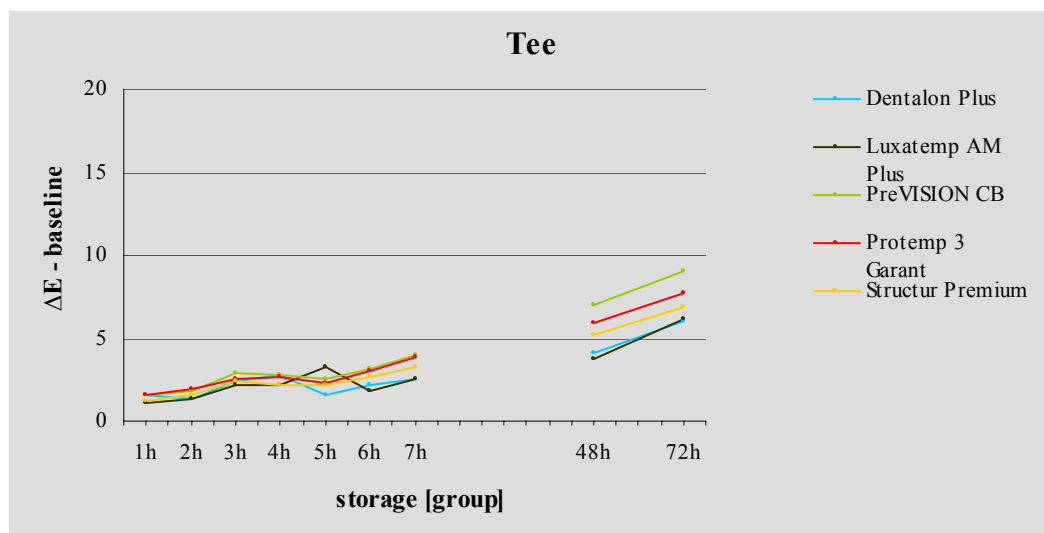
Alle fünf temporären K&B-Materialien zeigen bei der 1h-Messung ΔE -Werten die auf eine geringfügige Verfärbung hinweisen.

Nach 4 h liegen alle temporären K&B-Materialien weit oberhalb von $\Delta E = 3,3$ und zeigen eine deutlich wahrgenommene Farbveränderung.

Abb. 7.5: Farbänderung ΔE in Rotwein

Farbveränderungen durch Tee

Bei Betrachtung der Abb. 7.6 wird ersichtlich, dass sich alle fünf temporären K&B-Materialien in der Farblösung Tee ähnlich verhalten. Sie beginnen alle bei den 1 h – Messungen mit ΔE -Werten unterhalb von 2,0 und steigen im zeitlichen Verlauf zu den 7h-Messungen auf ΔE -Werte oberhalb von 3,3 und weisen somit eine deutlich wahrgenommene Verfärbung auf.

Abb. 7.6: Farbänderung ΔE in Tee

Farbveränderungen in Zitronensäure

Die Abb. 7.7 zeigt das Verhalten der fünf überprüften temporären K&B-Materialien in der Lösung Zitronensäure.

Alle fünf temporären K&B-Materialien weisen bei der Lagerung keine wahrnehmbaren Farbveränderungen ($\Delta E < 2,0$) auf.

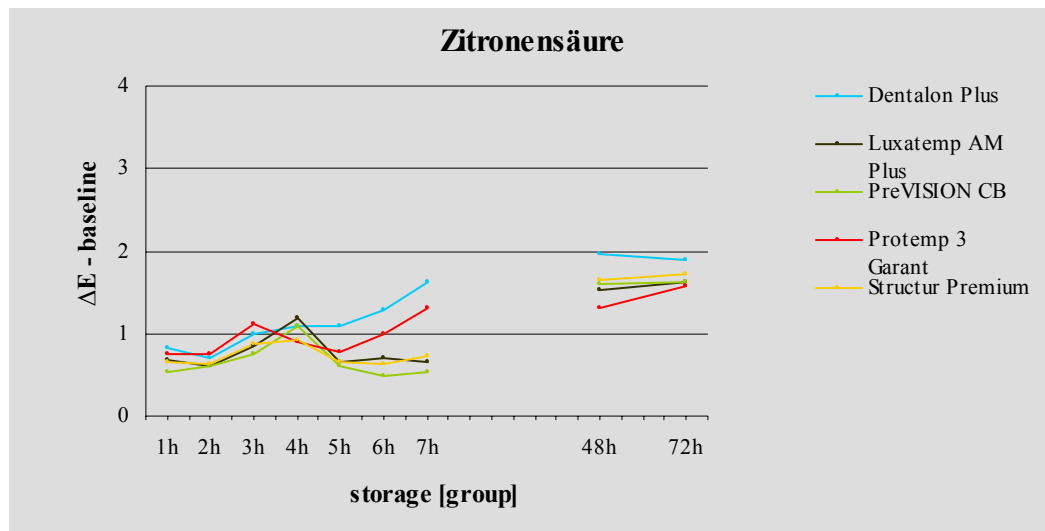


Abb. 7.7: Farbänderung ΔE in Zitronensäure

7.2 Farbzustand nach 4 h, 72 h und nach 168 h Thermowechselbelastung

Dieses Kapitel untersucht die Farbzustände zu drei verschiedenen Zeitpunkten. Der Farbzustand wurde jeweils separat auf die Faktoren Material, Farblösung und Oberfläche zurückgeführt. Die Leitfrage war nun nicht mehr: Wie entwickelten sich die Prüfkörper mit zunehmender Lagerzeit? Sondern: Wie stark war die Verfärbung zu einem bestimmten Lagerungszeitpunkt unter Berücksichtigung der genannten Faktoren?

Die Analysedaten beruhten auf den Originalmesswerten nach 4 h, 72 h und nach 168 h Thermowechselbelastung.

7.2.1 Einfluss von Material, Oberfläche und Farblösung

Die multifaktorielle ANOVA ergab einen signifikanten Einfluss der Oberfläche, der Lagerzeit sowie des verwendeten Materials ([Tabelle 7.7](#)).

Tabelle 7.7: Ergebnis der multifaktoriellen ANOVA sowie der logarithmischen Regressionsanalyse (r^2 -Werte kursiv)

Unabhängige Variable	4 h	72 h	168 h TWB
Material	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$
Oberfläche	$p < 0,01$	$p > 0,05$	$p < 0,01$
Farblösung	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$
Material $\times$ Oberfläche	$p < 0,001$	$p < 0,01$	$p < 0,01$
Material $\times$ Farblösung	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$
Oberfläche $\times$ Farblösung	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$
Material $\times$ Oberfläche $\times$ Farblösung	$p < 0,001$	$p < 0,01$	$p < 0,001$
r^2	<i>0,904</i>	<i>0,966</i>	<i>0,946</i>

Mit den Faktoren Material, Farblösung und Oberflächenstruktur und deren Wechselwirkungen wurde bei dem Farbzustand nach 4 h eine Erklärungskraft von $\text{korr. } R^2 = 0,904$ (90,4%) erreicht. Sämtliche Haupt- und Interaktionseffekte sind daher statistisch signifikant ([Tabelle 11.1-Anhang](#)).

Die Haupt- und Interaktionseffekte der drei Faktoren des Farbzustandes nach 72 h erzielen eine Erklärungskraft von $\text{korr. } R^2 = 0,966$ bzw. 96,6% ([Tabelle 11.2-Anhang](#)).

Die Erklärungskraft des Farbzustandes nach 168 h Thermowechselbelastung ist mit $\text{kor. } R^2 = 0,945$ ähnlich hoch wie bei 72 h. Die Regressionsanalyse ergibt auch nach 168 h Thermowechselbelastung, dass der Zuwachs an Erklärungskraft, der auf die Berücksichtigung aller direkten und indirekten Einflüsse der Oberfläche zurückzuführen ist, statistisch signifikant ist, aber betragsmäßig sehr gering ausfällt: $\text{kor. } R^2 = 0,946 - 0,931 = 0,015$ ([Tabelle 11.3-Anhang](#)). Somit wird auch die Untersuchung des Farbzustandes nach Thermowechselbelastung auf die Faktoren Material und Farblösung und deren Wechselwirkung beschränkt.

Aus den Ergebnissen der Regressionsanalysen wird erkennbar, dass die Bedeutung der Oberflächenstruktur im Zeitverlauf abnimmt: Nach vier Stunden bringt sie noch statistisch signifikante 5 Prozentpunkte mehr an Erklärungskraft. Nach 72 h bringt sie nur noch etwas mehr als einen zusätzlichen Prozentpunkt, der aber statistisch nicht mehr signifikant ist. Nach 168 h Thermowechselbelastung bietet sich diesbezüglich dasselbe Bild.

7.2.2 Unterschiede des Farbzustandes nach 4 h

Einflussfaktor Oberfläche

Die Regressionsanalyse aus [Kapitel 7.2.1](#) ergab, dass die Oberflächenstruktur nach 4 h Lagerung in den Farblösungen signifikante Unterschiede aufwies. Im Folgenden wurde nach den beiden Oberflächenbeschaffenheiten (rau-320grit vs. poliert) unter Kontrolle der übrigen Faktoren unterschieden.

Die [Tabelle 7.8](#) zeigt, dass in 8 von 60 Konstellationen signifikante und relevante Unterschiede zwischen rauen und polierten Oberflächen vorhanden sind. Diese Unterschiede konzentrierten sich auf die Lagerung in Kaffee und in Rotwein. Bei den anderen untersuchten Farblösungen spielte die Oberfläche keine Rolle.

Bei der Lagerung in Kaffee führte in zwei Fällen (Vergleich *Dentalon Plus* - *PreVISION CB* und *Luxatemp AM Plus* – *PreVISION CB*) die raue Oberfläche zu einem ungünstigeren Ergebnis und in weiteren zwei Fällen (Vergleich *Dentalon Plus* – *Protemp 3 Garant* und *Luxatemp AM Plus* – *Protemp 3 Garant*) die polierte Oberfläche.

Bei der Lagerung in Rotwein führte in vier Fällen die polierte Oberfläche zu einem ungünstigeren Ergebnis.

Tabelle 7.8: Mittlere Differenz und Standardfehler der ΔE -Werte der temporären K&B-Materialien mit verschiedenen Oberflächen nach 4 h in den Farblösungen

Vergleich Differenz

$$n_{\text{pro Material, Farblösung und Oberfläche}} = 8 / n_{\text{gesamt}} = 480$$

(I) Material – (J) Material

(I) Material	(J) Material	ΔE [SE]	ΔE [SE]	ΔE [SE]	ΔE [SE]	ΔE [SE]	ΔE [SE]	ΔE [SE]	ΔE [SE]	ΔE [SE]	ΔE [SE]	ΔE [SE]	ΔE [SE]
		Aqua dest/ 320grit ^T	Aqua dest/ poliert ^G	Coca Cola®/ 320grit ^G	Coca Cola®/ poliert ^G	Kaffee/ 320grit ^T	Kaffee/ poliert ^G	Rotwein/ 320grit ^G	Rotwein/ poliert ^T	Tee/ 320grit ^T	Tee/ poliert ^G	Zitronen- säure/ 320grit ^T	Zitronen- säure/ poliert ^T
Dentalon Plus	Luxatemp AM Plus	0,8* [0,1]	0,3 [0,2]	-0,1 [0,2]	0,1 [0,3]	-0,6 [0,3]	-0,8 [0,3]	0,7 [0,5]	-0,1 [0,2]	0,6 [0,5]	0,6 [0,5]	-0,2 [0,2]	0,0 [0,1]
	PreVISION CB	0,3 [0,1]	0,3 [0,2]	-0,1 [0,2]	0,1 [0,3]	-3,5* [0,3]	-3,2* [0,4]	0,3 [0,4]	-0,9* [0,2]	0,2 [0,5]	-0,3 [0,6]	-0,1 [0,2]	0,1 [0,1]
	Protemp 3 Garant	0,5* [0,1]	-0,2 [0,2]	-0,4 [0,2]	-0,1 [0,3]	-1,6* [0,3]	-3,4* [0,5]	1,6* [0,4]	-2,1* [0,2]	0,0 [0,5]	0,3 [0,5]	0,3 [0,2]	0,1 [0,1]
	Structur Premium	0,8* [0,1]	0,3 [0,2]	0,1 [0,2]	0,2 [0,2]	-0,8* [0,3]	-1,7* [0,3]	1,3* [0,4]	-2,2* [0,2]	-0,0 [0,5]	0,2 [0,5]	0,5* [0,2]	-0,1 [0,1]
Luxatemp AM Plus	PreVISION CB	-0,5* [0,1]	0,0 [0,1]	0,1 [0,1]	0,0 [0,3]	-2,9* [0,3]	-2,5* [0,3]	-0,5 [0,4]	-0,8* [0,2]	-0,4 [0,5]	-0,8 [0,4]	0,1 [0,2]	0,1 [0,1]
	Protemp 3 Garant	-0,3 [0,1]	-0,4* [0,1]	-0,3 [0,1]	-0,3 [0,3]	-1,0* [0,3]	-2,6* [0,5]	0,9 [0,4]	-2,0* [0,2]	-0,6 [0,5]	-0,3 [0,2]	0,5* [0,2]	0,1 [0,1]
	Structur Premium	0,1 [0,1]	0,0 [0,1]	0,2 [0,1]	0,1 [0,2]	-0,2 [0,3]	-1,0* [0,3]	0,5 [0,4]	-2,0* [0,2]	-0,6 [0,5]	0,6 [0,2]	0,7* [0,2]	-0,2 [0,1]
PreVISI- ON CB	Protemp 3 Garant	0,2 [0,1]	-0,5* [0,1]	-0,3 [0,1]	-0,3 [0,1]	1,9 [0,3]	-0,2 [0,5]	1,4* [0,2]	-1,2* [0,2]	-0,2 [0,5]	0,6 [0,4]	0,4 [0,2]	0,0 [0,1]
	Structur Premium	0,6* [0,1]	0,0 [0,1]	0,2 [0,1]	0,1 [0,1]	2,7 [0,3]	1,5* [0,3]	1,0* [0,2]	-1,3* [0,2]	-0,2 [0,5]	1,4* [0,4]	0,6 [0,2]	-0,2 [0,1]
Protemp 3 Garant	Structur Premium	0,3* [0,1]	0,5* [0,1]	0,5* [0,1]	0,3 [0,1]	0,8 [0,3]	1,7* [0,5]	-0,4 [0,2]	-0,1 [0,2]	-0,0 [0,5]	0,9 [0,3]	0,2 [0,2]	-0,2 [0,1]

^G Games-Howell Test, ^T Tukey Test, * Signifikanz ($p > 0,05$),gelbe Hervorhebung = $\Delta E \geq 2$ geringfügig wahrnehmbare Farbveränderung;orange Hervorhebung = $\Delta E \geq 3,3$ deutlich wahrnehmbare Farbveränderung

Einflussfaktoren Material und Farblösung – Rauheit gepoolt

Die [Tabelle 7.9](#) zeigt, dass nach einer Lagerung von 4 h in den Farblösungen nur vier signifikante und relevante Farbveränderungen auftraten. Das temporäre K&B-Material *PreVISION CB* zeigte im Vergleich zu *Dentalon Plus*, *Luxatemp AM Plus* und *Structur Premium* nach 4 h Lagerung in Kaffee eine höhere Verfärbung.

In Kaffee gelagerte *Protemp 3 Garant* – Probekörper wiesen eine höhere Farbveränderung auf als *Dentalon Plus* – Probekörper.

Tabelle 7.9: Mittlere Differenz und Standardfehler der ΔE -Werte der temporären K&B-Materialien nach 4 h in den Farblösungen

Vergleich Differenz

$$n_{\text{pro Material und Farblösung}} = 16 / n_{\text{gesamt}} = 480$$

(I) Material – (J) Material

(I) Material	(J) Material	ΔE [SE] in Aqua dest ^G	ΔE [SE] in Coca Cola ^{®G}	ΔE [SE] in Kaffee ^G	ΔE [SE] in Rotwein ^G	ΔE [SE] in Tee ^G	ΔE [SE] in Zitronen- säure ^G
Dentalon Plus	Luxatemp AM Plus	0,5* [0,1]	0,0 [0,2]	-0,7 [0,2]	0,3 [0,3]	0,5 [0,4]	-0,1 [0,2]
	PreVISION CB	0,3* [0,1]	0,0 [0,2]	-3,4* [0,3]	-0,3 [0,2]	0,0 [0,4]	0,0 [0,1]
	Protemp 3 Garant	0,2 [0,1]	-0,3 [0,2]	-2,5* [0,4]	-0,2 [0,4]	0,2 [0,4]	0,2 [0,1]
	Structur Premium	0,6* [0,1]	0,1 [0,2]	-1,3* [0,3]	-0,5 [0,4]	0,6 [0,4]	0,2 [0,1]
Luxatemp AM Plus	PreVISION CB	-0,2* [0,1]	0,0 [0,1]	-2,7* [0,2]	-0,6 [0,2]	-0,6 [0,2]	0,1 [0,2]
	Protemp 3 Garant	-0,4* [0,1]	-0,3 [0,1]	-1,8* [0,3]	-0,5 [0,4]	-0,4 [0,2]	0,3 [0,1]
	Structur Premium	0,0 [0,1]	0,1 [0,1]	-0,6* [0,2]	-0,8 [0,4]	0,0 [0,2]	0,3 [0,1]
PreVISION CB	Protemp 3 Garant	-0,1 [0,1]	-0,3* [0,1]	0,9 [0,3]	0,1 [0,4]	0,2 [0,3]	0,2 [0,1]
	Structur Premium	0,3* [0,1]	0,1 [0,1]	2,1* [0,2]	-0,1 [0,4]	0,6 [0,3]	0,2 [0,1]
Protemp 3 Garant	Structur Premium	0,4* [0,1]	0,4* [0,1]	1,2* [0,3]	-0,2 [0,5]	0,4 [0,3]	0,0 [0,1]

^G Games-Howell Test, * Signifikanz ($p > 0,05$),

gelbe Hervorhebung = $\Delta E \geq 2$ geringfügig wahrnehmbare Farbveränderung;

orange Hervorhebung = $\Delta E \geq 3,3$ deutlich wahrnehmbare Farbveränderung

7.2.3 Unterschiede des Farbzustandes nach 72 h

Die [Tabelle 7.10](#) zeigt, dass nach einer Lagerung von 72 h in der Farblösung schon mehr signifikante und relevante Farbveränderungen als nach 4 h sichtbar waren. Das temporäre K&B-Material *PreVISION CB* zeigte im Gegensatz zu den anderen temporären K&B-Materialien die schlechteste Farbstabilität. *Dentalon Plus* verhielt sich im Vergleich zu den anderen temporären K&B-Materialien am farbstabilsten.

Tabelle 7.10: Mittlere Differenz und Standardfehler der ΔE -Werte der temporären K&B-Materialien nach 72 h in den Farblösungen

Vergleich Differenz

$$n_{\text{pro Material und Farblösung}} = 16 / n_{\text{gesamt}} = 480$$

(I) Material – (J) Material

(I) Material	(J) Material	ΔE [SE] in Aqua dest ^G	ΔE [SE] in Coca Cola ^{®G}	ΔE [SE] in Kaffee ^T	ΔE [SE] in Rotwein ^G	ΔE [SE] in Tee ^T	ΔE [SE] in Zitronen- säure ^G
Dentalon Plus	Luxatemp AM Plus	0,7* [0,1]	-0,2 [0,2]	-4,9* [0,4]	-2,2* [0,3]	-0,2 [0,3]	0,3 [0,1]
	PreVISI- ON CB	0,6* [0,1]	-0,0 [0,2]	-12,9* [0,4]	-6,4* [0,3]	-3,1* [0,3]	0,3 [0,1]
	Protemp 3 Garant	0,6* [0,1]	-0,7* [0,2]	-7,9* [0,4]	-6,3* [0,5]	-1,7* [0,3]	0,3* [0,1]
	Structur Premium	0,7* [0,1]	0,1 [0,2]	-8,2* [0,4]	-7,1* [0,6]	-1,0* [0,3]	0,2 [0,1]
Luxatemp AM Plus	PreVISI- ON CB	-0,2 [0,1]	0,2 [0,2]	-7,6* [0,4]	-4,2* [0,4]	-2,9* [0,3]	-0,0 [0,1]
	Protemp 3 Garant	-0,1 [0,1]	-0,5 [0,2]	-3,0* [0,4]	-4,1* [0,6]	-1,5* [0,3]	0,1 [0,1]
	Structur Premium	-0,0 [0,1]	0,3 [0,2]	-3,3* [0,4]	-4,9* [0,6]	-0,7 [0,3]	-0,1 [0,1]
PreVISI- ON CB	Protemp 3 Garant	0,1 [0,1]	-0,7* [0,1]	4,6* [0,4]	0,1 [0,6]	1,4* [0,3]	0,1 [0,1]
	Structur Premium	0,1 [0,1]	0,1 [0,1]	4,3* [0,4]	-0,7 [0,6]	2,1* [0,3]	-0,1 [0,1]
Protemp 3 Garant	Structur Premium	0,0 [0,1]	0,8* [0,1]	-0,3 [0,4]	-0,8 [0,8]	0,8* [0,3]	-0,2 [0,1]

^G Games-Howell Test, ^T Tukey Test, * Signifikanz ($p > 0,05$),

gelbe Hervorhebung = $\Delta E \geq 2$ geringfügig wahrnehmbare Farbveränderung;

orange Hervorhebung = $\Delta E \geq 3,3$ deutlich wahrnehmbare Farbveränderung

7.2.4 Unterschiede des Farbzustandes nach 168 h Thermowechselbelastung

Die [Tabelle 7.11](#) zeigt, dass nach 168 h Thermowechselbelastung, bei den in Kaffee gelagerten Probekörpern der Verfärbungsgrad minimal vermindert wurde. Bei den in Aqua dest, Coca Cola®, Rotwein, Tee und Zitronensäure gelagerten Probekörpern traten durch die Thermowechselbelastung Verfärbungen auf bzw. vorhandene Verfärbungen wurden teilweise verstärkt.

Tabelle 7.11: Mittlere Differenz und Standardfehler der ΔE -Werte der temporären K&B-Materialien nach 168 h Thermowechselbelastung

Vergleich Differenz

(I) Material – (J) Material

$n_{\text{pro Material und Farblösung}} = 16 / n_{\text{gesamt}} = 480$

(I) Material	(J) Material	ΔE [SE] in Aqua dest ^G	ΔE [SE] in Coca Cola ^{®T}	ΔE [SE] in Kaffee ^G	ΔE [SE] in Rotwein ^T	ΔE [SE] in Tee ^T	ΔE [SE] in Zitronen- säure ^G
Dentalon Plus	Luxatemp AM Plus	-0,9* [0,2]	-1,2* [0,2]	-5,3* [1,0]	-4,0* [0,4]	-2,4* [0,4]	-0,6 [0,2]
	PreVISI- ON CB	-0,2 [0,2]	-0,2 [0,2]	-9,8* [0,6]	-7,8* [0,4]	-5,6* [0,4]	0,4 [0,2]
	Protemp 3 Garant	-3,0* [0,2]	-2,7* [0,2]	-6,5* [0,6]	-5,8* [0,4]	-4,5* [0,4]	-2,2* [0,3]
	Structur Premium	-0,3 [0,2]	-0,2 [0,2]	-4,6* [0,5]	-7,1* [0,4]	-2,5* [0,4]	0,6 [0,2]
Luxatemp AM Plus	PreVISI- ON CB	0,7* [0,1]	1,0* [0,2]	-4,5* [1,0]	-3,9* [0,4]	-3,1* [0,4]	1,0* [0,1]
	Protemp 3 Garant	-2,1* [0,1]	-1,4* [0,2]	-1,2 [1,0]	-1,9* [0,4]	-2,1* [0,4]	-1,6* [0,2]
	Structur Premium	0,6* [0,1]	1,0* [0,2]	0,7 [1,0]	-3,1* [0,4]	-0,1 [0,4]	1,2* [0,1]
PreVISI- ON CB	Protemp 3 Garant	-2,8* [0,1]	-2,5* [0,2]	3,3* [0,5]	2,0* [0,4]	1,0 [0,4]	-2,6* [0,2]
	Structur Premium	-0,1 [0,1]	-0,0 [0,2]	5,2* [0,4]	0,7 [0,4]	3,1* [0,4]	0,1 [0,1]
Protemp 3 Garant	Structur Premium	2,7* [0,1]	2,5* [0,2]	1,9* [0,4]	-1,3* [0,4]	2,0* [0,4]	2,8* [0,2]

^G Games-Howell Test, ^T Tukey Test, * Signifikanz ($p > 0,05$),

gelbe Hervorhebung = $\Delta E \geq 2$ geringfügig wahrnehmbare Farbveränderung;

orange Hervorhebung = $\Delta E \geq 3,3$ deutlich wahrnehmbare Farbveränderung

7.3 Farbveränderung infolge Thermowechselbelastung

Dieses Kapitel beschäftigt sich mit der Verlaufsperspektive der Farbveränderung unter Thermowechselbelastung. Aus den kompletten Messreihen mit zehn aufeinander folgenden Messzeitpunkten liegen in diesem Kapitel nur die beiden letzten zugrunde: 72 h Lagerung in der Farblösung und 168 h Thermowechselbelastung in Aqua dest. Aus diesen beiden Messungen wurde die Differenz gebildet:

- Negative Werte = reduzierte Einfärbung
- Positive Werte = verstärkte Einfärbung nach Thermowechselbelastung.

7.3.1 Einfluss von Material und Farblösung

Aus der [Tabelle 7.12](#) geht hervor, dass sämtliche Effekte signifikant auf die Verfärbung einwirken. Die Signifikanzwerte sind durchweg kleiner als der kritische Wert 0,05. Diese Feststellung schließt auch den Effekt des konstanten Terms ein, der das Ausmaß der Farbveränderung zwischen den betrachteten Lagerungszeiten (72 h und 168 h TWB) insgesamt verkörpert. Das Modell mit allen aufgeführten Einflussgrößen erreicht eine Erklärungskraft von $R^2 = 0,637$, das heißt 63,7% der Varianz der Farbveränderung kann durch Material und Farblösung erklärt werden ([Tabelle 11.4-Anhang](#)).

Tabelle 7.12: Ergebnis der multifaktoriellen ANOVA der Farbveränderung infolge TWB

Unabhängige Variable	Signifikanz
Material	$p < 0,001$
Farblösung	$p < 0,001$
Material $\times$ Farblösung	$p < 0,001$
r^2	0,637

7.3.2 Farbveränderung

Aus der [Tabelle 7.13](#) geht hervor, dass bei dem temporären K&B-Materialien *Dentalon Plus* und *Luxatemp AM Plus* durch die 168 h Thermowechselbelastung keine signifikanten und relevanten Unterschiede zur Lagerung nach 72 h Farblösung auftraten. Bei *Pre-VISION CB* zeigten die in Aqua dest, Rotwein und Tee gelagerten Probekörper eine vermehrte Verfärbung durch Thermowechselbelastung. Bei *Protemp 3 Garant* zeigten die in Aqua dest, Coca Cola®, Tee und Zitronensäure gelagerten Probekörper eine vermehrte Verfärbung durch Thermowechselbelastung. Bei *Structur Premium* führte die

Thermowechselbelastung bei den in Aqua dest, Coca Cola®, Rotwein, Tee und Zitronensäure gelagerten Probekörpern zu einer vermehrten Verfärbung.

Tabelle 7.13: Mittlere Differenz und Standardfehler der ΔE -Werte der temporären K&B-Materialien infolge Thermowechselbelastung

Vergleich Differenz

(I) Farblösung – (J) Farblösung

$$n_{\text{pro Farblösung und Material}} = 16 / n_{\text{gesamt}} = 480$$

(I) Farblösung	(J) Farblösung	ΔE [SE] von Dentalon Plus ^T	ΔE [SE] von Luxatemp AM Plus ^G	ΔE [SE] von PreVI- SION CB ^G	ΔE [SE] von Protemp 3 Garant ^G	ΔE [SE] von Structur Premium ^G
Aqua dest	Coca Cola®	-0,4 [0,4]	0,2 [0,1]	0,3 [0,1]	1,3* [0,2]	0,3 [0,2]
	Kaffee	-1,4* [0,4]	-0,2 [0,9]	2,0* [0,4]	3,6* [0,2]	3,1* [0,2]
	Rotwein	-1,2* [0,4]	-1,3* [0,2]	-1,8* [0,2]	3,0* [0,4]	-0,2 [0,3]
	Tee	-0,7 [0,4]	-1,3* [0,1]	-2,5* [0,2]	0,1 [0,3]	-1,3* [0,3]
	Zitronensäure	-0,8 [0,4]	0,0 [0,1]	0,2 [0,1]	0,3 [0,2]	0,6* [0,2]
Coca Cola®	Kaffee	-1,1 [0,4]	-0,5 [0,9]	1,8* [0,4]	2,3* [0,3]	2,9* [0,2]
	Rotwein	-0,8 [0,4]	-1,5* [0,2]	-2,0* [0,2]	1,7* [0,4]	-0,5 [0,3]
	Tee	-0,4 [0,4]	-1,6* [0,2]	-2,7* [0,2]	-1,2* [0,3]	-1,6* [0,3]
	Zitronensäure	-0,4 [0,4]	-0,3 [0,1]	-0,1 [0,1]	-1,0* [0,2]	0,3 [0,1]
Kaffee	Rotwein	0,3 [0,4]	-1,1 [0,9]	-3,8* [0,4]	-0,6 [0,4]	-3,3* [0,3]
	Tee	0,7 [0,4]	-1,1 [0,9]	-4,5* [0,4]	-3,6* [0,3]	-4,5* [0,3]
	Zitronensäure	0,6 [0,4]	0,2 [0,9]	-1,9* [0,4]	-3,3* [0,2]	-2,6* [0,2]
Rotwein	Tee	0,4 [0,4]	0,0 [0,2]	-0,7 [0,2]	-2,9* [0,4]	-1,1* [0,3]
	Zitronensäure	0,4 [0,4]	1,3* [0,2]	1,9* [0,2]	-2,7* [0,4]	0,8 [0,3]
Tee	Zitronensäure	0,0 [0,4]	1,3* [0,2]	2,6* [0,2]	0,3 [0,3]	2,0* [0,3]

^G Games-Howell Test, * Signifikanz ($p > 0,05$),

gelbe Hervorhebung = $\Delta E \geq 2$ geringfügig wahrnehmbare Farbveränderung;

orange Hervorhebung = $\Delta E \geq 3,3$ deutlich wahrnehmbare Farbveränderung

8 Diskussion

8.1 Material und Methode

8.1.1 Materialauswahl

In der vorliegenden Arbeit wurden fünf temporäre K&B-Materialien untersucht: ein Mono-Methacrylat (*Dentalon Plus*) und vier composite-basierende temporäre K&B-Werkstoffe (*Luxatemp AM Plus*, *PreVISION CB*, *Protemp 3 Garant* und *Structur Premium*). Die Materialauswahl basierte auf dem Hintergrund, dass ein möglichst unterschiedliches Spektrum an Materialien getestet und gegenübergestellt werden konnte. So zum einen die Gegenüberstellung von Mono-Methacrylat und composite-basierenden Werkstoffen. Sie soll zeigen, ob eine Materialgruppe farbstabiler ist als die andere. Denn in einigen Studien wird den composite-basierenden Werkstoffen eine höhere Farbstabilität als den Mono-Methacrylaten zugesprochen.^{73, 113} Zum anderen weist die Zusammensetzung ([Kapitel 6.1](#)) der verwendeten K&B-Materialien auf unterschiedliche Eigenschaften hin. Sie unterscheiden sich in den verwendeten Einzelbestandteilen, wie Füllstoffgehalt, Initiatoren, Stabilisatoren, Pigmenten und dementsprechend auch in ihrer Abbindezeit. Doch inwieweit die unterschiedlichen Bestandteile und Eigenschaften der K&B-Materialien einen Einfluss auf die Farbbeständigkeit haben bedarf weiterer Studien. Der Fokus dieser Untersuchung lag auf der Überprüfung der Farbstabilität von verschiedenen marktgängigen temporären K&B-Materialien.

8.1.2 Methodik

Prüfkörperherstellung

Die Prüfkörper wurden in Anlehnung an die EN ISO 4049 hergestellt. Laut der Norm sollen plane Probekörper mit einem Durchmesser von $15 \pm 0,1$ mm und einer Dicke von $1,0 \pm 0,1$ mm verwendet werden. In der Literatur sind weitere, häufig anzutreffende Probengröße mit 8 - 15 mm Durchmesser und 2,0 mm Dicke^{26, 27, 33, 42, 45, 46, 68, 120, 133, 134} oder auch 20 mm Durchmesser und 1,0 mm Dicke^{76, 90, 95, 113} zur Farbbeständigkeitsprüfung verwendet wurden. Die Probengröße schwankte in den verschiedenen Untersuchungen von 5 – 25 mm Durchmesser und 1,0 – 5,0 mm Dicke.

In dieser Arbeit hatten die hergestellten Probekörper einen Durchmesser von 20,0 mm bei einer Stärke von 1,0 mm. Die Entscheidung für diese Probengröße wurde getroffen, da die Probekörper am äußeren Rand perforiert wurden. Diese Perforation diente zum Auffädeln der Probekörper zwischen Abstandshalter, um ein gleichmäßiges Umspülen der Probekörper mit der Farblösung zu gewährleisten. Der Perforationsbereich diente nicht zur Farbbestimmung, musste aber in die Probengröße mit einberechnet werden. Zur Farbbestimmung musste im Zentrum des Probekörpers eine Fläche von ca. 10 mm zur Verfügung stehen. Durch die Probekörpergröße war dies gegeben.

Viele Autoren^{26, 27, 33, 42, 45, 46, 68, 120, 133, 134} wählten eine Probekörperstärke von 2 mm. In der EN ISO 4049 sind zur Farbbeständigkeitsprüfung als Maßgabe $1,0 \pm 0,1$ mm Dicke angegeben. Diese Maßgabe liegt näher an der klinischen Situation. Zur Präparation einer Metallvollgußkrone wird eine Schichtstärke von ca. 1 mm Zahnhartsubstanz abgetragen. Die temporäre Restauration hat dann im Regelfall auch eine Schichtstärke von 1 mm. Die Präparation zur Aufnahme einer Vollkeramikkrone oder einer verblendeten Metallkrone bedarf etwas mehr Platz. Hierbei wird von der Zahnhartsubstanz in der Regel ca. 0,8 mm für das Metall und ca. 0,5 – 0,8 mm für die Keramikverblendung entfernt. Dies bedeutet eine Schichtstärke der definitiven Versorgung und ebenso auch der temporären Versorgung von 1,3 – 1,6 mm.

Aus den vorgenannten Gründen wurde in dieser Arbeit die Schichtstärke der Prüfkörper in Anlehnung an die EN ISO 4049 und in Anlehnung an die klinischen Gegebenheiten gewählt.

Um höhere statistische Sicherheit zu erlangen, wurden pro Messserie acht, anstatt der EN ISO 4049 geforderten fünf Probekörper einer jeden Material-Oberflächen-Gruppe hergestellt.⁶⁰

Oberflächenbearbeitung

Die Bearbeitung der Oberfläche stellte eine Annäherung an den klinischen Ablauf der Verarbeitung der temporären K&B-Versorgung dar. Nach der klinischen Herstellung einer temporären K&B-Restauration muss diese ausgearbeitet werden. Die Ausarbeitung der Restauration mit einer Hartmetallfräse dient dem Entfernen von Überschüssen, dem Anpassen der Okklusion sowie dem Angleichen des marginalen Randschlusses. Im darauffolgenden Schritt wird die Oberfläche der temporären Restauration mit Silikonpolierern, Bimsstein oder Polierpaste poliert.

Bei der praktischen Durchführung der Oberflächenbearbeitung konnte das Risiko einer Beeinträchtigung der Genauigkeit durch die Handhabung nicht völlig ausgeschlossen werden. Die Oberflächenbearbeitung erfolgte jedoch so exakt wie möglich, um dieses Risiko zu minimieren.

Dazu zählt zum einen, dass die Oberflächenbearbeitung nicht maschinell, sondern manuell erfolgte. Die rauen Probekörper wurden mittels einer 320 grit rotierenden Sandpapierscheibe für 25 s bearbeitet. Dabei musste der Probekörper mit leichtem Druck auf die rotierende Scheibe gedrückt werden. In diesem angewandten Druck liegt nun auch die Ungenauigkeit. Je mehr Druck umso mehr Substanzabtrag und eine höhere Rautiefe, dementsprechend je weniger Druck umso weniger Substanzabtrag und eine geringere Rautiefe.

Bei den polierten Probekörpern wurde genauso wie bei den rauen Probekörpern verfahren, nur dass sie anschließend nochmals auf der rotierenden Sandpapierscheibe mit 800 grit für 25 s und anschließend mit Polierpaste poliert wurden. Die Politur wurde mit einer Diamantpaste und Wollschwabbel im Handstück mit 30 kreisenden Bewegungen durchgeführt. Auch hierbei kann durch einen höheren oder minderen Druck eine dementsprechend glatte oder noch eine etwas raue Oberfläche entstanden sein.

Diese Ungenauigkeiten existieren allerdings auch in der praktischen Anwendung der temporären K&B-Materialien, was die Messergebnisse wiederum auf die Praxis übertragbar macht.

Ein weiterer Punkt der die Ergebnisse beeinflussen kann, ist das Vorhandensein einer Sauerstoffinhibitionsschicht. Durch die Oberflächenbearbeitung, die in diesem Versuch erfolgte, konnte die Sauerstoffinhibitionsschicht entfernt werden.

Messintervalle und Lagerung der Proben

Die Messintervalle und die Lagerbedingungen der Probekörper wurden so gewählt, um einen möglichst praxisnahen Bezug zu erhalten.

Die erste Messung nach 24 h bei 37°C im Wasserbad simulierte die erste Zeit in der Mundhöhle und diente außerdem als Bezugsmessung für die Farbveränderung. Zur praxisnahen Simulation kamen die Probekörper 1 h in die jeweilige Farblösung. Anschließend wurde die Farbveränderung ermittelt. Danach lagerten die Probekörper für 23 h in Aqua dest. Dieses Vorgehen erfolgte siebenmal, in Ahnlehnung an die in der EN ISO 4049 geforderten sieben Tage Lagerung.

In der Literatur sind die verschiedensten Angaben über die Lagerzeiten und Messintervalle zu finden. Einige Autoren führten ihre erste Messung nach einem Tag^{44-46, 73} in der Farblösung, dann eine zweite Messung nach sieben Tagen und die letzte Messung nach 28-30 Tagen.^{33, 49, 120, 134} Dabei wurden die Probekörper komplett in der Farblösung gelagert. Dies entspricht aus Sicht dieser Untersuchung nicht den gewöhnlichen Belastungen, die eine temporäre K&B-Restaurations in situ unterliegt. Ein gewöhnlicher Kaffee-, Rotwein- oder Teetrinker nimmt im Durchschnitt täglich 3-4 Tassen Kaffee oder Tee, bzw. 1-2 Gläser Rotwein zu sich, danach bzw. dazwischen unterliegt die temporäre Versorgung wieder dem gewöhnlichen Speichelfluss. In Betracht dessen wurden in dieser Untersuchung die Lagerzeiten der ersten 7 Tage gewählt. Die Messungen nach 48 h und 72 h in der Farblösung sollen eine Maximalbelastung darstellen. Durch die 168 h Thermowechselbelastung sollte untersucht werden, ob sich die Verfärbungen danach reduzieren oder nochmals verstärken.

Wie auch in anderen Studien^{33, 46, 76, 113, 126} kam als Lagermedium Wasser zur Anwendung. In Wasser finden nicht exakt die gleichen Wechselwirkungen der temporären K&B-Materialien wie im menschlichen Speichel statt. Darum wurde in einigen Untersuchungen versucht mit künstlichem Speichel nahe an die klinische Situation zu gelangen.^{49, 106} Mit Wasser als Lagermedium vereinfacht sich die Versuchsdurchführung und es wurde eine Vergleichbarkeit mit vorherigen Untersuchungen möglich. Aus dem Grund der Vergleichbarkeit mit anderen Ergebnissen wurden die anderen Farblösungen ausgewählt.

Die Lösung Zitronensäure wurde noch in keiner Studie verwendet, erschien aber als sehr interessant, da in der Bevölkerung zunehmend säurehaltige Nahrungsmittel und Getränke konsumiert werden. Zitronensäure wird überwiegend bei Erfrischungsgetränken (Eistee, Cola mit Zitrone) eingesetzt, aber auch einige Süßwaren, wie saure Drops oder saure Weingummiprodukte enthalten einen hohen Anteil an Zitronensäure. Zitronensäure wird ebenfalls als Zusatzstoff (E 330) in Lebensmitteln zugesetzt, z.B. in Konfitüren, in Gelees und in Gelatine-Süßspeisen. Beim Verzehr von Getränken oder Lebensmitteln mit hohem Zitronensäureanteil sinkt der pH-Wert des Speichels stark ab. Der sinkende pH-Wert in der Mundhöhle kann zu einer Herauslösung von Mineralstoffen aus dem Zahnschmelz führen. Insbesondere bei einem hohen Verzehr von Getränken oder Süßwaren mit hohem Zitronensäureanteil ist eine Schädigung der Zahnhartsubstanz oder der temporären sowie definitiven Restaurationen zu befürchten.

Die Prüfkörper wurden in den Lösungen (wie in der Norm EN ISO 4049 gefordert) in einem lichtdicht verschlossenen Wärmeschrank aufbewahrt, dessen Temperatur konstant bei $37\pm 1^\circ\text{C}$ gehalten wurde. In ähnlichen Untersuchungen^{6, 99} wurden die Prüfkörper in der verfärbenden Flüssigkeit bei höheren Temperaturen gelagert. Da bei der Lagerung in Wasser bei 60°C eine hohe Korrelation zwischen den Farbveränderungen bei 37°C und 60°C Wasserlagerung festgestellt werden konnte. Die Wahl einer höheren Temperatur hat eine größere Distanz zu den klinischen Verhältnissen, da die Temperatur in der Mundhöhle etwa 35°C beträgt. Es kann aber auch durch zu deutlicheren Ergebnissen aufgrund der erhöhten Temperatur kommen, da eventuelle Reaktionen der verwendeten Materialien untereinander intensiviert werden.³² Auch in der Literatur ist die häufigste anzutreffende Lagertemperatur $37\pm 1^\circ\text{C}$.^{46, 49, 50, 106, 113, 120, 134}

Eine Ungenauigkeit im Arbeitsschritt der Lagerung der Probekörper bestand nach der Entnahme der Probekörper aus der verfärbenden Lösung, um sie dann mit dem Messgerät zu messen. Die Probekörper wurden unter fließendem Wasser abgespült und anschließend einmal pro Seite mit einem Zellstofftuch trocken gewischt. Das Trockenwischen geschah ohne zu großen Druck anzuwenden. Dabei wurden möglicherweise Auflagerungen von den Prüfkörpern abgewischt. Diese Auflagerungen waren von Lösung zu Lösung unterschiedlich. So waren bei Aqua dest, Coca Cola® und Zitronensäure nur Flüssigkeitstropfen abzuwischen. Im Gegensatz dazu war bei den in Kaffee, Rotwein oder Tee gebadeten Prüfkörpern eine farbintensive, aufgelagerte Schicht zu erkennen. Wenn dieser Aspekt von der klinischen Seite betrachtet wird, ist dies mit den normalen Mundhygienemaßnahmen eines Patienten zu vergleichen. Wurde die temporäre Versorgung nach der Präparation eingesetzt, so unterliegt sie den Zahnputzgewohnheiten des Patienten. Dabei würde die aufgelagerte Schicht durch die Zahnbürste in Verbindung mit Zahnpasta entfernt werden und eine klinische Untersuchung über die Verfärbungsneigung temporärer K&B-Materialien positiv beeinflussen.

Messmethodik

In den Normen EN ISO 4049 und 7491 ist der visuelle Vergleich zur Ermittlung von Farbveränderungen vorgesehen. Jedoch wurden schon mehrfach Ungenauigkeiten bei der visuellen Farbbestimmung festgestellt.^{19, 85} Bei der visuellen Methode kann nur eine qualitative, jedoch keine quantitative Aussage über die Farbveränderung gemacht werden.⁶⁰ In der EN ISO 4049 wird geschrieben, dass ein Füllungs- und restaurativer

Kunststoff als farbbeständig gilt, wenn „...nach Bestrahlung und Wasseraufnahme nicht mehr als eine gerade eben wahrnehmbare Farbänderung feststellbar ist.“

In der vorliegenden Untersuchung wurde die Farbe und die Farbveränderung mit einem computergestützten Farbmessgerät (DSG 4 *Plus*®) bestimmt. In vielen Untersuchungen wurde die Farbveränderung mit einem Colorimeter^{33, 42, 45, 46, 49, 50, 113, 126, 133, 134} oder einem Spektralphotometer^{26, 27, 60, 73, 97, 98, 106, 120} gemessen. Durch die Anwendung der instrumentellen Farbmessung ist es möglich objektive Messwerte und auch kleine, für das menschliche Auge eben nicht mehr wahrnehmbare Farbunterschiede zu erhalten.

Die gemessenen Daten konnten so computergestützt gespeichert und statistisch ausgewertet werden.

Das verwendete Farbbestimmungsgerät DSG 4 *Plus*® der Firma Rieth kam in dieser Untersuchung erstmalig in einer In-vitro Untersuchung zum Einsatz. Das Gerät DSG 4 *Plus*® konnte bislang die Zahnfarbe lediglich im praxisgebräuchlichen Vita-System ausgeben. Für die Anwendung in dieser Untersuchung wurde speziell eine Software von der Firma Rieth entwickelt, wonach es möglich war, die gemessenen Farbwerte in L*a*b*-Werten zu messen und als solche zu speichern.

Einige Untersuchungen^{66, 132} beschäftigten sich mit der Reproduzierbarkeit des computergestützten Farbbestimmungsgerätes DSG 4 *Plus*®. Kopp⁶⁶ stellte fest, dass für wissenschaftliche Studien, in denen Wert auf eine hohe Reproduzierbarkeit der erhobenen Daten gelegt wird, DSG 4 *Plus*® besser geeignet ist, als ein farbbestimmendes Probandenkollektiv. Witzel¹³² hingegen stellte fest, dass DSG 4 *Plus*® mit den Untersuchern der visuellen Farbbestimmung ungefähr gleich auf lag. Diese vergleichsweise niedrige Reproduzierbarkeitsrate des DSG 4 *Plus*® ist aber wohl darauf zurückzuführen, dass ohne Hilfsmittel nicht exakt derselbe Bereich des Zahnes wiederholt gemessen werden kann.

8.2 Diskussion der Ergebnisse

Ein temporäres K&B-Material muss in der klinischen Anwendung eine Farbstabilität aufweisen. Denn eine temporäre K&B-Restoration ist vor allem im Frontzahngebiet unbrauchbar, wenn sich die Farbe des temporären K&B-Materials in kurzer Zeit verändert.

Mit zunehmender Dauer der Lagerung der Prüfkörper in den verfärbenden Lösungen steigen auch die gemessenen ΔE -Werte.

Dentalon Plus

Das temporäre K&B-Material *Dentalon Plus* zeigt nach einer Lagerungszeit von 72 h in den Lösungen Coca Cola® ($\Delta E=1,9$) und Zitronensäure ($\Delta E=1,9$) keine Farbveränderung. In Aqua dest ($\Delta E=2,3$) ergibt sich nach 72 h eine sehr geringe Farbveränderung. Bei den in Kaffee gelagerten Prüfkörpern kann nach 72 h ein deutlich wahrnehmbarer ΔE -Wert ($\Delta E=3,8$), in Tee nach 48 h ($\Delta E=4,1$) und in Rotwein bereits schon ab 4 h ($\Delta E=4,6$) ermittelt werden.

Türker *et al.*¹²⁰ untersuchte *Dentalon Plus* nach 1 Tag, nach 7 Tagen und nach 30 Tagen in ähnlichen Farblösungen. Die vorliegenden Aqua dest- und Coca Cola®-Werte entsprechen etwa den erreichten Werten der Untersuchung von Türker *et al.*. Er ermittelte nach der Lagerung in Aqua dest einen ΔE -Wert von 0,9, nach der Lagerung in Coca Cola® $\Delta E=0,7$. Diese ΔE -Werte blieben wie in der vorliegenden Untersuchung in keinem bis geringfügigem Ausmaß der Farbveränderung. Nach 7 Tagen Lagerung in Kaffee stellte Türker *et al.* ΔE -Werte von 0,9 fest, nach der Lagerung in Tee $\Delta E=2,3$ und nach Lagerung in Rotwein $\Delta E=1,2$. Diese ΔE -Werte liegen anders als in dieser Untersuchung unterhalb bzw. knapp über (in Tee) der Wahrnehmungsgrenze. Die Lagerung in Zitronensäure und Curcuma wurde von Türker *et al.* nicht untersucht.

Rutkunas *et al.*⁹⁸ testete *Dentalon Plus* nach verschiedenen Polierverfahren und ermittelte nach 7 Tagen Lagerung in Aqua dest ΔE -Werte, die bei drei Polierverfahren klinisch akzeptabel waren und bei vier Polierverfahren deutlich über ΔE 3,3 lagen. Nach 7 Tagen Lagerung in Kaffee mit Zucker und Rotwein konnte bei allen Polierverfahren ΔE -Werte über 3,3 gemessen werden. Die Ergebnisse der Lagerung in Aqua dest sind mit dieser Studie nicht vergleichbar, jedoch nach Lagerung in Kaffee und Rotwein konnte auch Rutkunas *et al.* deutlich wahrnehmbare ΔE -Werte ermitteln. Die restlichen in dieser Untersuchung verwendeten Lösungen wurden von o.g. Autor nicht verwendet.

Rutkunas *et al.*⁹⁷ polierte *Dentalon Plus*-Prüfkörper, legte sie in Aqua dest, Kaffee mit Zucker und Rotwein, polierte sie nach Lagerung wieder und führte dann die Messung durch. Nach 7 Tagen Lagerung in Wasser war *Dentalon Plus*, bis auf ein Polierverfahren, nicht verfärbt. Nach Lagerung in Kaffee mit Zucker konnten nach erneuter Politur

ΔE -Werte unter 3,3 gemessen werden. Bei Rotwein zeigten zwei von drei Polierverfahren nach Repolitur ΔE -Werte über 3,3.

Luxatemp AM Plus

Das temporäre K&B-Material *Luxatemp AM Plus* zeigt nach einer Lagerungszeit von 72 h in den Lösungen Aqua dest ($\Delta E=1,6$), Coca Cola® ($\Delta E=2,2$) und Zitronensäure ($\Delta E=1,6$) keine bis geringfügig verfärbte Ergebnisse. Bei den in Kaffee gelagerten Prüfkörpern kann bereits nach 1 h ein deutlich wahrnehmbarer ΔE -Wert ($\Delta E=3,9$), in Tee nach 48 h ($\Delta E=3,7$) und in Rotwein bereits schon ab 4 h ($\Delta E=4,3$) ermittelt werden.

Guler *et al.*⁴⁵ untersuchte unterschiedlich polierte *Luxatemp AM Plus*-Probekörper nach 48 h Lagerungszeit in einer Kaffeelösung. Alle Probekörper zeigten ΔE -Werte über 3,3. Das Ausmaß der Verfärbung des temporären K&B-Materials *Luxatemp AM Plus* in der Kaffeelösung ist dieser Untersuchung ähnlich.

Sham *et al.*¹¹³ untersuchte *Luxatemp* Probekörper nach 20 Tagen Lagerungszeit in Aqua dest und Kaffee. In Aqua dest konnte er geringfügig wahrnehmbare ΔE -Werte ($\Delta E=2,7$) messen, in Kaffee waren die ΔE -Werte ($\Delta E=14,3$) sehr hoch und zeigen eine starke Verfärbung. Auch wenn die Lagerungszeit nicht mit der vorliegenden Studie übereinstimmt, so ist der Trend der in Wasser und Kaffee gelagerten Probekörper mit dieser Untersuchung vergleichbar.

Haselton *et al.*⁴⁹ führte mit *Luxatemp* Untersuchungen durch, wobei er die Probekörper für eine und zwei Wochen in künstlichen Speichel oder in Kaffee mit künstlichem Speichel einlegte. Die ΔE -Werte seiner in Kaffee mit künstlichem Speichel gelagerten Probekörper zeigten selbst nach der 2-Wochen-Messung ($\Delta E=1,7$) keine Verfärbungen. Da der Kaffee nicht in so konzentrierte Form wie in dieser Untersuchung angewendet wurde, weichen die ΔE -Werte der Untersuchung von Haselton *et al.* von dieser Untersuchung ab.

PreVISION CB

Das temporäre K&B-Material *PreVISION CB* zeigt nach einer Lagerungszeit von 72 h in den Lösungen Aqua dest ($\Delta E=1,8$), Coca Cola® ($\Delta E=2,0$) und Zitronensäure ($\Delta E=1,6$) keine bis geringfügige Verfärbungen. Bei den in Kaffee gelagerten Prüfkörpern kann bereits nach 1 h ein deutlich wahrnehmbarer ΔE -Wert ($\Delta E=6,9$), in Tee nach 7 h ($\Delta E=3,9$) und in Rotwein bereits schon ab 4 h ($\Delta E=4,9$) ermittelt werden. In keiner Untersuchung wurde bisher das temporäre K&B-Material *PreVISION CB* untersucht.

Die Ergebnisse sind mit den in dieser Untersuchung verwendeten composite-basierenden Materialien vergleichbar. Die Verfärbungsneigung von *PreVISION CB* zeigt in den Signifikanzprüfungen im Vergleich zu den anderen drei composite-basierenden temporären K&B-Materialien die schlechteste Farbstabilität.

Protemp 3 Garant

Das temporäre K&B-Material *Protemp 3 Garant* zeigt nach einer Lagerungszeit von 72 h in den Lösungen Aqua dest ($\Delta E=1,7$), Coca Cola® ($\Delta E=2,7$) und Zitronensäure ($\Delta E=1,6$) keine bis geringfügige Verfärbungen. Bei den in Kaffee gelagerten Prüfkörpern kann bereits nach 1 h ein deutlich wahrnehmbarer ΔE -Wert ($\Delta E=6,4$), in Tee nach 7 h ($\Delta E=3,8$) und in Rotwein bereits schon ab 4 h ($\Delta E=4,9$) ermittelt werden.

Rutkunas *et al.*⁹⁸ testete *Protemp 3 Garant* nach verschiedenen Polierverfahren und ermittelte nach 7 Tagen Lagerung in Aqua dest gering wahrnehmbare ΔE -Werte ($\Delta E=2,19$). Bei den in Kaffee mit Zucker und Rotwein gelagerten Probekörper konnte Rutkunas *et al.* deutlich wahrnehmbare ΔE -Werte messen.

Rutkunas *et al.*⁹⁷ polierte *Protemp 3 Garant*-Prüfkörper, legte sie in Aqua dest, Kaffee mit Zucker und Rotwein, polierte sie nach Lagerung wieder und führte dann die Messung durch. Nach 7 Tagen Lagerung in Kaffee mit Zucker und Rotwein konnte bei zwei der vier Polierverfahren ΔE -Werte über 3,3 und bei den anderen zwei Polierverfahren ΔE -Werte unter 3,3 gemessen werden. Die Ergebnisse der Lagerung in Kaffee und Rotwein sind den Ergebnissen dieser Studie nicht ähnlich. In der vorliegenden Arbeit wurden bei Kaffee und Rotwein bereits nach wenigen Stunden Lagerung in der Lösung ΔE über 3,3 gemessen werden. Die Ergebnisse von Aqua dest wiederum sind dieser Untersuchung ähnlich. Die restlichen in dieser Untersuchung verwendeten Lösungen wurden von o.g. Autor nicht verwendet.

Guler *et al.*^{45, 46}, Yannikakis *et al.*¹³⁴ und Haselton *et al.*⁴⁹ untersuchten *Protemp*, jedoch wurden in diesen Untersuchungen die Vorgängerprodukte (*Protemp II* und *Protemp Garant*) von *Protemp 3 Garant* untersucht. Auch die Vorgängerprodukte von *Protemp 3 Garant* zeigen in Aqua dest eine hohe Farbstabilität. Die Farbstabilität in Rotwein, Tee und Kaffee ist ähnlich den Ergebnissen dieser Untersuchung.

Structur Premium

Das temporäre K&B-Material *Structur Premium* zeigt nach einer Lagerungszeit von 72 h in den Lösungen Aqua dest ($\Delta E=1,6$), Coca Cola® ($\Delta E=2,2$) und Zitronensäure

($\Delta E=1,6$) keine bis kaum wahrnehmbare Verfärbungen. Bei den in Kaffee gelagerten Prüfkörpern kann bereits nach 1 h ein deutlich wahrgenommener ΔE -Wert ($\Delta E=4,8$), in Tee nach 7 h ($\Delta E=3,3$) und in Rotwein bereits schon ab 4 h ($\Delta E=5,1$) ermittelt werden.

Rutkunas *et al.*⁹⁸ konnte bei nach 7 Tagen Lagerung in Aqua dest bei einigen Polierverfahren ΔE -Werte über 3,3 messen. Dies entspricht nicht den Ergebnissen dieser Untersuchung. Die Ergebnisse nach 7 Tagen Lagerung in Kaffee und Rotwein zeigen, wie auch in dieser Untersuchung, ΔE -Werte die generell weit über $\Delta E=3,3$ lagen.

Rutkunas *et al.*⁹⁷ polierte *Structur Premium*-Prüfkörper, legte sie in Aqua dest, Kaffee mit Zucker und Rotwein, polierte sie nach Lagerung wieder und führte dann die Messung durch. Nach 7 Tagen Lagerung in Aqua dest waren die *Structur Premium*-Prüfkörper nicht verfärbt. Nach der Lagerung in Kaffee mit Zucker und Rotwein zeigten sich ebenfalls keine Verfärbungen. Jedoch bei zwei Politur-Verfahren deutlich wahrnehmbare ΔE -Werte.

Fazit der Ergebnisvergleiche

Viele Ergebnisse dieser Untersuchung sind mit den Ergebnissen in der Literatur schwer vergleichbar. Denn von den bisherigen Untersuchern über die Farbbeständigkeit von temporären K&B-Materialien wurden die Lagerungszeiten anders gewählt als in dieser Untersuchung. So verwendeten viele, andere Autoren, einen Lagerungszeitraum von einen^{33, 44, 73, 120, 126, 134} oder sieben Tagen.^{42, 49, 68, 97, 98} Dabei wurden die Probekörper für einen bzw. für sieben Tage komplett in der Farblösung gelagert. Im Gegensatz dazu kamen die Probekörper in dieser Untersuchung pro Tag 1 h in die Farblösung und für 23 h in Aqua dest.

In keiner Untersuchung wurde Zitronensäure als Lagermedium verwendet. Darum ist ein Vergleich mit anderen Ergebnissen nicht möglich. Ebenso die Lagerung in Coca Cola® wurde nur von Türker *et al.*¹²⁰ untersucht.

Auch wenn die Untersuchungskriterien der anderen Autoren von dieser Untersuchung abweichen, so ist doch ein klarer Trend hinsichtlich der Farbveränderung in den verschiedenen Farblösungen erkennbar. So berichten viele Autoren über die Farbbeständigkeit nach der Lagerung in Aqua dest und Coca Cola® oder nach einer vermehrten Verfärbung nach Lagerung in Curcuma, Kaffee, Rotwein und Tee.^{46, 97, 98, 113, 120, 134}

Die Veränderung der Farbe der temporären K&B-Materialien kann exogene oder endogene Ursachen haben.

Der Grund für exogene Verfärbungen liegt in der Oberflächenrauigkeit. Denn mit zunehmender Rautiefe steigt die Adhäsion von Farbstoffpigmenten an der rauen Werkstoffoberfläche. Eine raue Oberfläche einer temporären K&B-Restauration kann ausarbeitungstechnisch bedingt sein oder durch die chemische und physikalische Belastung im Mundmilieu entstehen. Dabei kommt es während der Nutzperiode einer temporären K&B-Restauration zu einer Verschlechterung der primär glatt polierten Oberfläche. Dies geschieht durch mögliche Freilegung von Porositäten oder durch die Bildung von Mikrohaarrissen. Dadurch werden die Adhäsion und das Eindringen von Farbpigmenten in die Oberfläche begünstigt.¹¹⁶

Im Gegensatz zu endogenen Verfärbungen lassen sich exogene Verfärbungen durch Reinigungs- und Politurverfahren entfernen. In dieser Untersuchung ist an den Ergebnissen zu sehen ([Kapitel 7.1.2 und 7.1.3](#)), dass in einigen Fällen vermutlich eine exogene Farbstoffauflagerung stattgefunden hat. Beispielsweise bei den temporären K&B-Materialien *Luxatemp AM Plus*, *PreVISION CB* und *Structur Premium* ist in der Farblösung Coca Cola® nach 7 h Lagerung eine Verringerung der ΔE -Werte zu sehen. Dies kann, wie unter der Überschrift „Messintervalle und Lagerung der Proben“ beschrieben, durch die Reinigung der Probekörper und dem Abtrag der Farbauflagerung entstanden sein. Jedoch kann eine exogene Verfärbung nur vermutet werden, da zur Überprüfung dessen eine weitere Oberflächenbearbeitung nötig gewesen wäre. Dies wurde in der vorliegenden Untersuchung nicht untersucht.

Endogene Verfärbungen sind werkstoffbedingt. Instabile Polymerisationsvorgänge und chemische, innerhalb des Polymers ablaufende Reaktionen, wie Umwandlung tertiärer Amin-Akzeleratoren führen zu endogenen Farbveränderungen. Endogene Farbveränderungen führen während der Alterungsperiode zu einer, für das menschliche Auge kaum wahrnehmbaren, Gelbwertverschiebung.^{111, 121} Insgesamt sind endogen bedingte und daher irreversible Farbveränderungen im Vergleich zu exogenen Verfärbungen als relativ gering einzuschätzen.¹⁰⁸ Durch experimentelle Untersuchungen können endogene Verfärbungen nachgewiesen werden. Diese Untersuchung hatte die Unterscheidung zwischen exogener und endogener Verfärbung nicht zum Ziel. Jedoch könnte eine solche interessante Unterscheidung als Thema für eine weitere wissenschaftliche Arbeit dienen.

8.2.1 Einfluss des Lagermediums

In den Lagermedien Aqua dest, Coca Cola® und Zitronensäure sind nach der maximalen Lagerzeit nur gering steigende ΔE -Werte zu beobachten. Obgleich die ΔE -Werte in den Lösungen steigen, so bleiben die ΔE -Werte bis nach einer Lagerungszeit von 72 h im nicht oder nur kaum wahrnehmbaren Bereich.

Auch Stober *et al.*¹¹⁸, Yannikakis *et al.*¹³⁴, Guler *et al.*⁴⁵, Sham *et al.*¹¹³, Türker *et al.*¹²⁰, Ergün *et al.*³³ und Rutkunas *et al.*⁹⁷ untersuchten die Farbbeständigkeit in Aqua dest von 1 Tag bis 4 Wochen. All diese Untersucher konnten keinen oder nur einen geringen Anstieg der ΔE -Werte feststellen. Außer Rutkunas *et al.*⁹⁸ konnte nach einer Woche Lagerung in Aqua dest ΔE -Werte über 3,3 messen.

Die Lagerung der Probekörper in Coca Cola® lieferten auch bei Guler *et al.*⁴⁵, Türker *et al.*¹²⁰ und Ergün *et al.*³³ geringe ΔE -Werte. Das Lagermedium Zitronensäure wurde bisher nur von Akova *et al.*³ untersucht. Die Untersuchungen beschäftigten sich jedoch nicht mit der Farbstabilität sondern mit den mechanischen Eigenschaften temporärer K&B-Materialien nach Lagerung in verschiedenen Lösungen.

Eine Verfärbungsneigung der temporären K&B-Werkstoffe ist in dem Farbmedium Tee zu erkennen. Die Lösung Tee hatte aber eine nicht so große Verfärbungswirkung wie Kaffee oder Rotwein. Diese Erkenntnis hatten auch Givens *et al.*⁴², Stober *et al.*¹¹⁸, Yannikakis *et al.*¹³⁴, Türker *et al.*¹²⁰ und Ergün *et al.*³³.

In der vorliegenden Arbeit ist generell eine stärkere Verfärbungswirkung des Farbmediums Kaffee gegenüber Rotwein zu verzeichnen. Generell berichten andere Autoren^{45, 49, 97, 98, 118, 120, 134} über eine höhere Verfärbungsneigung des Rotweins gegenüber Kaffee. Dieser Unterschied zur Literatur kann darauf zurückgeführt werden, dass in den verschiedensten Untersuchungen auch die Lösungen unterschiedlich angesetzt werden. So benutzen die einen oder anderen Untersucher zur Herstellung des Kaffees weniger Wasser oder einen lieblichen Rotwein, als in dieser Untersuchung verwendet wurde. Da in den Veröffentlichungen der Autoren nicht immer die genaue Zubereitung der Lösungen erläutert wurde, ist diesbezüglich eine Ursachenforschung kaum möglich.

Die Farblösung Curcuma zeigt in dieser Untersuchung bereits nach 1 h Farblösung extrem hohe ΔE -Werte. Stober *et al.* untersuchte temporäre K&B-Prüfkörper nach 4 und 5 Wochen Lagerung in 0,1% CurcumaLösung und auch hierbei resultierten sehr hohe ΔE -Werte (20-40).

8.2.2 Einfluss der Oberfläche

Der Vergleich der Oberfläche nach 4 h Lagerung in Kaffee zeigt zwei signifikante und relevante Unterschiede. Diese waren aber so unsystematisch, dass eine eindeutige Interpretation der Resultate nicht möglich ist. Deshalb wurde in dem Ergebnisteil der vorliegenden Arbeit nicht mehr nach Oberflächenstruktur unterschieden.

In der Untersuchung von Guler *et al.*⁴⁵ wurden ebenfalls Komposit-Probekörper mit rauher und polierter Oberfläche auf die Farbständigkeit untersucht. Dabei zeigte ein Verfahren mit Polierscheiben (Sof-Lex) die meiste Verfärbung. Eine weitere Gruppe der Probekörper, welche ebenfalls mit einer Diamantpaste poliert wurde, zeigte die höchste Farbstabilität. Dieses Ergebnis wurde auch in dieser Untersuchung erwartet. Denn mit zunehmender Oberflächenrauigkeit steigt die Adhäsion von Farbstoffpigmenten an einer Werkstoffoberfläche. Das Vorgehen der Oberflächenbearbeitung in der vorliegenden Arbeit wurde bereits schon diskutiert. Die Diskrepanz dieser Ergebnisse zu den erwarteten und literarischen Ergebnissen liegt wahrscheinlich in einer ungenügenden Politur der Probekörper. Da die Arbeitsvorgänge zur besseren Standardisierung zeitlich und in den kreisrunden Politurbewegungen limitiert waren, ist eine ausreichende Politur nicht erfolgt. Um zu überprüfen, ob eine raue oder polierte Oberfläche viel oder wenig Rauheit besitzt, müssen profilographische Untersuchungen vor der Farbbeständigkeitsprüfung erfolgen. Denn nur so ist mit Sicherheit gewährleistet, dass eine raue Oberfläche eine hohe Rautiefe und im Umkehrschluss eine polierte Oberfläche eine geringe Rautiefe aufweist.

8.3 Schlussfolgerung

Aus den Ergebnissen der vorliegenden Untersuchungen lassen sich folgende Schlussfolgerungen und Empfehlungen ableiten:

Wissenschaftliche und methodische Schlussfolgerungen

1. Die Farbbeständigkeit von temporären K&B-Materialien wird durch verschiedene Faktoren beeinflusst: die Zusammensetzung des temporären K&B-Materials, die Farblösung und die Lagerungszeit.
2. Von allen verwendeten Materialien zeigt das Mono-Methacrylat *Dentalon Plus* die höchste Farbstabilität. Bei den verwendeten Bisacrylat-Compositen zeigt *Luxatemp AM Plus* die höchste und *PreVISION CB* die geringste Farbstabilität.

3. Aqua dest, Coca Cola® und Zitronensäure haben selbst bei langer Lagerungszeit keinen Einfluss auf die Farbveränderung. Curcuma, Kaffee und Rotwein verändern bereits nach kurzer Lagerungsdauer die Farbe von temporären K&B-Werkstoffen. Nach langer Lagerungszeit in Tee kann ebenfalls eine erhöhte Verfärbungstendenz auftreten.
4. Beim Vergleich der Farbstabilität von rauen und polierten Oberflächen ist eine profilographische Untersuchung der Probekörper vor Farblagerung anzuraten.

Klinische Schlussfolgerung

1. Die höchste Farbstabilität bietet das Mono-Methacrylat *Dentalon Plus*, sowie das composite-basierende *Luxatemp AM Plus*. Beide temporären K&B-Materialien sind hinsichtlich der Farbbeständigkeit für temporäre Langzeitrestaurationen empfehlenswert.
2. Für eine kurze Tragedauer einer temporären K&B-Restauration bieten alle fünf untersuchten temporären K&B-Werkstoffe eine ausreichende Farbstabilität.
3. Die Farbstabilität temporärer K&B-Materialien ist abhängig von den Gegebenheiten im Mundmilieu.
4. Verfärbungen von temporären K&B-Materialien können durch regelmäßige Mundhygienemaßnahmen (Zähne putzen) vorgebeugt oder sogar verhindert werden.

9 Zusammenfassung

9.1 Zusammenfassung

Das Ziel der vorliegenden Studie war die Untersuchung der Farbbeständigkeit von temporären Kronen- und Brückenmaterialien in Abhängigkeit von der Oberfläche, von der Lagerungszeit und vom Farbmedium.

Untersucht wurden fünf marktgängige temporäre K&B-Materialien: *Protemp 3 Garant*, *Structur Premium*, *Luxatemp AM Plus*, *PreVISION CB* und *Dentalon Plus*. Es wurden acht kreisrunde, plane Probekörper (20 mm Durchmesser und $1 \pm 0,1$ mm Dicke) pro Material, Oberflächenbearbeitung und Farblösung hergestellt. Insgesamt wurden 560 Probekörper angefertigt. Die 120 Probekörper pro Material wurden in zwei verschiedene Gruppen der Oberflächenbearbeitung eingeteilt: raue und polierte Oberfläche. Zur Farbbeständigkeitsprüfung wurden die Proben in Aqua Dest, Curcuma, Coca Cola®, Kaffee, Rotwein, Tee und Zitronensäure gelegt. Die Messung der Farbveränderung erfolgte mit dem Farbmessgerät DSG 4 Plus®. Die Messungen erfolgten nach Baseline, nach 1 h, 2 h, 3 h, 4 h, 5 h, 6 h, 7 h, 48 h, 72 h Lagerung in der Farblösung sowie nach 168 h Thermowechselbelastung.

Die ΔE -Werte wurden berechnet und varianzanalytisch ausgewertet. Die Signifikanzüberprüfung der Materialien erfolgte mit einer multifaktoriellen ANOVA und anschließend mit dem Levene-Test ($p = 0,05$). Der Vergleich der Oberflächen führte zu keinem signifikanten Ergebnis. Von den vier untersuchten composite-basierenden Materialien zeigte *PreVISION CB* die höchste Verfärbungsneigung. Die geringste Farbveränderung konnte bei dem Mono-Methacrylat *Dentalon Plus* festgestellt werden. Curcuma, Kaffee, Rotwein und Tee führten zu den höchsten signifikanten Farbveränderungen. Nach der Lagerung in Aqua dest und Zitronensäure traten keine Verfärbungen auf.

Mono-Methacrylate weisen eine höhere Farbstabilität auf als composite-basierende temporäre Kronen- und Brückenmaterialien. Mit zunehmender Lagerungszeit können steigende ΔE -Werte beobachtet werden. Die Farbstabilität temporärer K&B-Materialien ist abhängig von den Gegebenheiten im Mundmilieu. Beim Vergleich der Farbstabilität von rauen und polierten Oberflächen ist eine profilographische Untersuchung der Probekörper vor Farblagerung anzuraten.

9.2 Summary

The purpose of this study was to investigate the colour stability of provisional prosthetic materials depending on the surface roughness, of the storage time and the storage solutions.

Five commercially available temporary resins were evaluated: *Protemp 3 Garant*, *Struc-tur Premium*, *Luxatemp AM Plus*, *PreVISION CB* and *Dentalon Plus*. Eight circular, planar specimens (20 mm diameter and $1 \pm 0,1$ mm thickness) were prepared for each group of materials, surface roughness and storage solutions, such that a total of 560 samples were prepared. 112 specimens per materials were divided into 2 groups ($n = 8$) of surface finishing: rough and polishing surface. To check the colour stability of the specimens, they were inserted into aqua dest, curcuma, cola (coke[®]), coffee, red wine, tea and citric acid. The colour of each specimen was measured with a colour-measuring instrument (DSG 4 Plus[®]) at baseline and after 1 h, 2 h, 3 h, 4 h, 5 h, 6 h, 7 h, 48 h, 72 h of immersion and after 168 h thermocycling.

Colour change data (ΔE) were calculated and subjected to multivariate analysis of variance. To examine significant interactions, multivariate ANOVA and Levene-test multiple comparisons test were performed to identify differences between the materials ($p \leq 0,05$). A comparison of the surface roughness didn't feature out significant results. The analysis (of the colour and colour parameters) of the tested materials in four types of composite-based materials showed that *PreVISION CB* displayed the greatest tendency to discolouration and that the least tendency to discolouration was exhibited by mono-methacrylate *Dentalon Plus*. Curcuma, coffee, red wine and tea caused the most significant colour changes and aqua dest and citric acid showed the least significant colour changes.

The methyl-methacrylate-based material was found to be more colour stable than the composite-based provisional prosthetic materials tested. ΔE of all of the provisional restorations materials was changed after the immersion in all of the staining solutions during the experimental process. Provisional prosthetic materials show variable colour stability under different conditions in the oral cavity. If a comparison of the colour stability of rough and polished surfaces is planned, a profilographic examination of the specimens before the colour storage process is recommendable.

10 Literaturverzeichnis

1. Academy of Prosthodontics. The glossary of prosthodontic terms. *J Prosthet Dent*; 94: 10-92; 2005.
2. EN ISO 4049:2000 Füllungs-, restaurative und Befestigungskunststoffe; Deutsche Norm; Berlin: *Beuth*; 2001.
3. Akova T., Ozkomur A., Uysal H. Effect of food-simulating liquids on the mechanical properties of provisional restorative materials. *Dent Mater*; 22: 1130-1134; 2006.
4. Anders A. , Welker D. Untersuchungen von Kronen- und Brückenplasten für die Interimsversorgung. *Dtsch Zahnärztl Z*; 45: 149-153; 1990.
5. Anglis L.F. Provisional restorations and patient satisfaction. *Gen Dent*; 46: 197-199; 1998.
6. Asmussen E., Hansen E.K. Surface discoloration of restorative resins in relation to surface softening and oral hygiene. *Scand J Dent Res*; 94: 174-177; 1986.
7. Balkenhol M. Temporäre Kronen- und Brückenwerkstoffe in der Zahnheilkunde: Eine Standortbestimmung. Giessen: *Habilitationsschrift* 2007.
8. Behrend D.A. Temporary protective restorations in crown and bridge work. *Aust Dent J*; 12: 411-416; 1967.
9. Best D. Hue, Value and Chroma - dental color terminology and the world of art. *Dent Lab*; 1: 31-35; 1984.
10. Bolt R.A., Bosch J.J., Coops J.C. Influence of window size in small-window colour measurement, particularly of teeth. *Phys Med Biol*; 39: 1133-1142; 1994.
11. Borchers L., Jung T. Werkstoffkundliche Untersuchungen an Materialien für provisorische Kronen und Brücken. *Dtsch Zahnärztl Z*; 39: 757-760; 1984.
12. Bortz J. Statistik für Human- und Sozialwissenschaftler. Heidelberg: *Springer*; 2005.
13. Bowen R.L., Cleek G.W. X-ray-opaque reinforcing fillers for composites materials. *J Dent Res*; 48: 79-82; 1969.
14. Bral M. Periodontal considerations for provisional restorations. *Dent Clin North Am*; 33: 457-477; 1989.
15. Burke F.J., Murray M.C., Shortall A.C. Trends in indirect dentistry: 6. Provisional restorations, more than just a temporary. *Dent Update*; 32: 443-450; 2005.
16. Burns D.R. , Beck D.A., Nelson S.K. A review of selected dental literature on contemporary provisional fixed prosthodontic treatment: report of the Committee on Research in Fixed Prosthodontics of the Academy of Fixed Prosthodontics. *J Prosthet Dent*; 90: 474-497; 2003.
17. Chrisment A. Farbe und Farbmessung. Paris: *Editions 3C Conseil* 1998.
18. Clauss C., Kuretzky T. Individuelle Provisorien. *Dental Magazin*; 4: 84-86; 1995.

19. Cook W.D., Chong M.P. Color stability and visual perception of dimethacrylate. *Biomaterials*; 6: 257-264; 1985.
20. Cooley R.L., Sandoval V.A. Fluoride release and color stability of a fluoride-containing composite resin. *Quintessence Int*; 19: 899-904; 1980.
21. Crispin B.J., Caputo A.A. Color stability of temporary restorative materials. *J Prosthet Dent*; 42: 27-33; 1979.
22. Crispin B.J., Watson J.F., Caputo A.A. The marginal accuracy of treatment restorations: a comparative analysis. *J Prosthet Dent*; 44: 283-290; 1980.
23. Cross M.D., Moser J.B. A colorimetric study of coffee and tea staining of four composite resin. *J Oral Rehabil*; 4: 311-314; 1977.
24. Dietrich H., Dietrich J. (Hrsg.). Die provisorische Versorgung. 2.Auflage. Fuchstal: *teamwofk media* 2002.
25. Dietschi D., Campanile G., Holz J., Meyer J.M. Comparison of the colour stability of ten new generation composites: A in vitro study. *Dent Mater*; 10: 353-362; 1994.
26. Doray P.G., Wang X., Powers J.M., Burgess J.O. Accelerated Aging Affects Color Stability of Provisional Restorative Materials. *J Prosthodont*; 6: 183-188; Sept 1997.
27. Doray P.G., Li D., Powers J.M. Color stability of Provisional Restorative Materials After Accelerated Aging. *J Prosthodont*; 10: 212-216; 2001.
28. Douglas W.H., Craig R.G. Resistance to extrinsic stains by hydrophobic composite resin systems. *J Dent Res*; 61: 41-43; 1982.
29. Egger B. Die Farbtheorie und ihr Einfluss auf die Entwicklung des Composites Solidex. *Dentallabor* 43: 189-196; 1995.
30. Eichner K., Kappert H.F. Eichner K / Kappert HF (Hrsg): Zahnärztliche Werkstoffe und ihre Verarbeitung. Bd.1. Kunststoffe für provisorische Kronen und Brücken. Heidelberg: *Hüthig*; 2000.
31. Eldiwany M., Friedl K.H., Powers J.M. Color stability of light-cured and post-cured composites. *Am J Dent*; 8: 179-181; 1995.
32. Engel A. Untersuchung von Verfärbungen von fünf lichthärtenden Verblendkunststoffen durch sieben im Alltag gebräuchliche, verfärbende Stoffe. Berlin, Heppenheim: *Med. Diss.* 2003.
33. Ergün G., Mutlu-Sagesen L., Özkan Y., Demirel E. In Vitro color stability of provisional crown and bridge restoration materials. *Dent Mater J*; 24: 342-350; 2005.
34. Ferger P. Hygienische Gestaltung von Zahnersatz. *ZWR*; 95: 408-413; 1986.
35. Ferracane J.L. Correlation between hardness and degree of conversion during the setting reaction of unfilled dental restorative resins. *Dent Mater*; 1: 11-14; 1985.
36. Ferracane J.L., Moser J.B., Greener E.H. Ultraviolet light-induced yellowing of dental restorative resins. *J Prosthet Dent*; 54: 483-487; 1985.
37. Field A. Discovering Statistics Using SPSS. London: *Sage*; 2009.

38. Finger W. Eichner K / Kappert HF (Hrsg): Zahnärztliche Werkstoffe und ihre Verarbeitung. Bd.1. Begriffsbestimmungen der Werkstoffprüfung. Heidelberg: Hüthig; 2000.
39. Frederick D.R. The provisional fixed partial denture. *J Prosthet Dent*; 34: 520-526; 1975.
40. Fusayama T., Hirano T., Kono A. Discoloration test of acrylic resin fillings by an organic dye. *J Prosthet Dent*; 25: 532-539; 1971.
41. Gegauff A.G., Howay J.A. Interim Fixed Restorations. In: Rosenstiel SF, Land MF, Fujimoto J (Hrsg.). Contemporary Fixed Prosthodontics. 4. Auflage. Kapitel 15. St. Louis: Mosby Elsevier 2006.
42. Givens J.G., Neiva G., Yaman P., Dennison J.B. Marginal Adaption and Color Stability of Four Provisional Materials. *J Prosthodont*; 17: 97-101; 2008.
43. Gross M.D., Moser J.B. A colormetric study of coffee and tea staining of four composite resins. *J Oral Rehabil*; 4: 311-317; 1977.
44. Güler A.U. Color stability of provisional restorations. *Pract Proced Aesthet Dent*; 18: 103-104; 2006.
45. Guler A.U., Kurt S., Kulunk T. Effects of various finishing procedures on the staining of provisional restorative materials. *J Prosthet Dent*; 93: 453-458; 2005.
46. Guler A.U., Yilmaz F., Kulunk T., Guler E., Kurt S. Effects of different drinks on stainability of resin composite provisional restorative materials. *J Prosthet Dent*; 94: 118-124; 2005.
47. Hachiya Y., Iwaku M., Hosoda H., Fusayama T. Relation of finish to discoloration of composite resins. *J Prosthet Dent*; 52: 811-814; 1984.
48. Handel G. Langzeitprovisorien. *Dtsch Zahnärztl Z*; 57: 450-451; 2002.
49. Haselton D.R., Diaz-Arnold A.M., Dawson D.V. Color stability of provisional crown and fixed partial denture resins. *J Prosthet Dent*; 93: 70-75; 2005.
50. Haselton D.R., Diaz-Arnold A.M., Dawson D.V. Effect of Storage Solution on Surface Roughness of Provisional Crown and Fixed Partial Denture Materials. *J Prosthodont*; 13: 227-232; 2004.
51. Heath J.R., Wilson H.J. Surface roughness of restorations. *British Dent J*; 140: 131-137; 1976.
52. Hedegard B., Landt H. Hygienische Aspekte bei prothetischen Behandlungsvorgängen. *Dtsch Zahnärztl Z*; 35: 894-901; 1980.
53. Hersek N.E., Canay S.R., Yüksel G., Ersin A. Color stability of provisional bridge resins. *J Esthet Dent*; 8: 284-289; 1996.
54. Heymer M.E. Zur provisorischen Versorgung beschliffener Zahnstümpfe. *ZWR*; 79: 149-152; 1970.
55. Hofmann M. Erfahrungen mit kunststoffverkleideten Kronen- und Brückenkonstruktionen. *Dtsch Zahnärztl Z*; 13: 501-514; 1958.
56. Jacobs D.J., Steele J.G., Wassell R.W. Crowns and extra-coronal restorations: Considerations when planning treatment. *British Dent J*; 192: 257-267; 2002.

57. Janda R. Der Stand der Entwicklung auf dem Gebiet der Zahnfüllungskunststoffe II. *Quintessenz*; 39: 1243-1253; 1988.
58. Janda R. . Chemie und Physik zahnärztlicher Kunststoffe In: Eichner, K; Kappert, H.F. Heidelberg: *Hüthig* 1996.
59. Josephson B.A. A technique for temporary acrylicresin coverage in functional occlusal relationsip. *J Prosthet Dent*; 39: 158-161; 1974.
60. Kaminsky M. Farbe und Farbstabilität von zahnärztlichen Füllungskunststoffen in Abhängigkeit von Polymerisationsmodus, Polymerisationsdauer und Lagerungsmedium. Berlin: *Med. Diss.* 2003.
61. Kappert H.F., Bregler C. Objektivierte Farbbestimmung von Farbringzähnen und natürlichen Zähnen. *Quintessenz Zahntech*; 18: 1279-1301; 1992.
62. Käyser A.F., Creugers N.H., Plasmans P.J., Postema N., Snoek P.A. Kronen- und Brückenprothetik. Behandlungsplanung, Indikation, Ausführung, Langzeitbewährung. 1.Auflage. Köln: *Deutscher Ärzte Verlag*; 1996.
63. Khokhar Z.A., Razzoog M.E., Yaman P. Color stability of restorative resins. *Quintessence Int*; 22: 733-737; 1991.
64. Koeck B. Praxis der Zahnheilkunde. Band 5. Kronen- und Brückenprothetik. 4.Auflage. München: *Urban & Fischer*; 1999.
65. Koishi Y., Tanoue N., Matsumura H., Atsuta M. Colour reproducibility of a photo-activated prosthetic composite with different thickness. *J Oral Rehabil*; 28: 799-804; 2001.
66. Kopp M. Untersuchungen zur Reproduzierbarkeit der Farbbestimmung an natürlichen Zähnen mittels eines instrumentellen Farbbestimmungsgerätes DSG 4. Gießen: *Med. Diss.* 2004.
67. Körber K.-H. (Hrsg.). Zahnärztliche Prothetik. 3. Auflage. Stuttgart: *Thieme* 1985.
68. Koumjian J.H., Firtell D.N., Nimmo A. Color stability of provisional materials in vivo. *J Prosthet Dent*; 65: 740-742; 1991.
69. Koumjian J.H., Holmes J.B. Marginal accuracy of provisional restorative materials. *J Prosthet Dent*; 63: 639-642; 1990.
70. Krämer E., Netuschil L., Simonis A. Plaqueanlagerung an verschiedenen Verblendkunststoffen - eine klinische Studie. *Dtsch Zahnärztl Z*; 45: 482-484; 1990.
71. Krause-Hohenstein U. Die temporäre Versorgung beschliffener Zahnkronen - Eine rationelle und exakte Methode zur Erstellung von Provisorien - Teil I. *Quintessenz*; 8: 1345-1353; 1987.
72. Krug R.S. Temporary resin crowns and bridges. *Dent Clin North Am*; 19: 313-320; 1975.
73. Lang R., Rosentritt M., Leibrock A., Behr M., G. Handel. Colour stability of provisional crown and bridge restoration materials. *British Dent J*; 185: 486-471; 1998.
74. Lang R., Rosentritt M., Handel G. Die provisorische Versorgung. *Quintessenz*; 53: 27-36; 2002.
75. Lehmann KM E.H. (Hrsg.). Zahnärztliche Propädeutik. 9. Auflage. München: *Urban & Fischer* 2002.

76. Leibrock A., Rosentritt M., Lang R., Behr M., Handel G. Colour stability of visible light-curing hybrid composites. *Eur J Prosthodont Rest Dent*; 5: 125-130; 1997.
77. Luce M.S., Campbell C.E. Stain potential of four microfilled composites. *J Prosthet Dent*; 60: 151-154; 1988.
78. Ludwig P., Niedermeyer W. (Hrsg.). Checklisten der Zahnmedizin. Prothetik. 1. Auflage. Stuttgart: Thieme 2002.
79. Lui J.L., Setcos J.C., Phillips R.W. Temporary restorations: a review. *Oper Dent*; 11: 103-110; 1986.
80. Luthardt R., Hinz M., Stöbel M. Vergleichende klinische Studie temporärer K&B-Kunststoffe. *Phillip J*; 13: 367-373; 1996.
81. Marxkors R. Lehrbuch der zahnärztlichen Prothetik. 4.Auflage. *Deutscher Zahnärzte Verlag* 1998.
82. Melton D., Cobb S., Krell K.V. A comparison of two temporary restorations: light-cured resin versus a self-polymerizing temporary restoration. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*; 70: 221-225; 1990.
83. Meyer A., Müller P. Direkte provisorische Versorgung. *Quintessenz*; 57: 371-378; 2006.
84. Moulding M.B., P.E. Teplitsky. Intrapulpal temperature during direct fabrication of provisional restorations. *Int J Prosthodont*; 3: 299-304; 1990.
85. Nolden R., Schwickerath H., Brockers A. Zur metrischen Darstellung von Farbveränderungen bei Füllungsmaterialien. *Dtsch Zahnärztl Z*; 31: 915-918; 1976.
86. Padbury A., Jr., Eber R., Wang H.L. Inreactions between the gingiva and the margins of restorations. *J Clin Periodontol*; 30: 379-385; 2003.
87. Peutzfeld A., Asmussen E. Color stability of three composite resins used in the inlay/onlay technique. *Scand J Dent Res*; 98: 257-260; 1990.
88. Pfeiffer P., Schwickerath H. Provisorische Kronen- und Brückenmaterialien. *Dtsch Zahnärztl Z*; 43: 552-557; 1988.
89. Pipko J.D., El-Sadeek M. An in vitro investigation of abrasion and staining of dental resins. *J Dent Res*; 51: 689-705; 1972.
90. Pryor H.G., Laub L.W., Sandrik J.L. Quantitative evaluation of color stability of composites to ultraviolet radiation. *J Dent Res*; 68: 301-309; 1989.
91. Rawls H.R., Grenier R.J., Smid J., Cabasso I. Thermomechanical investigation of poly(methylmethacrylat) containing an organobismuth radiopacifying additive. *J Biomed Mater Res*; 31: 339-343; 1996.
92. Rees J.S., Jacobsen P.H. The polymerization shrinkage of composite resins. *Dent Mater*; 5: 41-44; 1989.
93. Richter M. Einführung in die Farbmeterik. Berlin/New York: W. de Gruyter 1981.
94. Rieder C.E. Use of provisional restorations to develop and achieve esthetic expectations. *Int J Periodontics Restorative Dent* 9:122-139; 1989.

95. Robinson F.G., Haywood V.B., Myers M. Effect of 10 percent carbamide peroxide on color of provisional restorative materials. *J Am Dent Assoc*; 128: 727-731; 1997.
96. Rossein K. The search for an ideal provisional material. *Dent Econ*; 85: 107-108; 1995.
97. Rutkunas V., Sabaliauskas V. Effects of different repolishing techniques on colour change of provisional prosthetic materials. *Stomatologija*; 11: 105-112; 2009.
98. Rutkunas V., Sabaliauskas V., Mizutani H. Effects of different food colorants and polishing techniques on color stability of provisional prosthetic materials. *Dent Mater*; 29: 167-176; 2010.
99. Ruyter I.E., Nilner K., Möller B. Colour stability of dental composite resin materials for crown and bridge veneers. *Dent Mater*; 3: 246-250; 1987.
100. Rzanny A., Welker D., Göbel R. Werkstoffkundlicher Vergleich temporärer K&B-Kunststoffe. *Phillip J*; 13: 357-366; 1996.
101. Satou N., Khan A.M., Matsumae I., Satou J., Shintani H. In vitro color change of composite-based resin. *Dent Mater*; 5: 384-387; 1989.
102. Schmidt E. Vergleichende klinische Prüfung der Wirksamkeit vier verschiedener Bleichtherapien. Berlin: *Dissertation* 2008.
103. Schultze W. Farbenlehre und Farbenmessung. Berlin: *Springer* 1975.
104. Schulze K., Tinschert J., Marshall S.J., Marshall G.W. Der Einfluss der Alterung auf die Farbbeständigkeit und Oberflächenbeschaffenheit von Kompositen. *Dtsch Zahnärztl Z*; 58: 266-272; 2003.
105. Schwickerath H. Wasseraufnahme von Kunststoffen im Langzeitversuch. *Dtsch Zahnärztl Z*; 35: 931-936; 1980.
106. Scotti R., Mascellani S.C., Forniti F. The In Vitro Color Stability of Acrylic Resins for Provisional Restorations. *Int J Prosthodont*; 10: 164-168; 1997.
107. Seghi R.R., Hewlett E.R. Visual and instrumental colorimetric assessments of small color differences on translucent dental porcelain. *J Dent Res*; 68: 1760-1764; 1989.
108. Seher J., Viohl J. In vitro discoloration of experimental and dental resins due to the effect of dyes and UV irradiation. *Dtsch Zahnärztl Z*; 47: 634-636; 1992.
109. Sen D., Göller G., 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.
110. Setz J., Engel E. In vivo colour stability of resin-veneered telescopic dentures. *J Prosthet Dent*; 77: 486-489; 1997.
111. Setz J., Engel E. Klinische Untersuchungen zur Farbbeständigkeit von Verblendkunststoffen. *Dtsch Zahnärztl Z*; 49: 735-740; 1994.
112. Setz J., Geis-Gerstorfer J., Weber H. Objektive Zahnfarbbestimmung - Fehlerquellen werden ausgeschaltet. *dental-labor XL*; 4: 667-670; 1992.
113. Sham A.S.K., Chu F.C.S., Chai J., Chow T.W. Color stability of provisional prosthodontic materials. *J Prosthet Dent*; 91: 447-452; 2004.

114. Shillingburg H.T., Sumiya H., Lowell D.W., Jacobi R., Brackett S.E. Fundamentals of Fixed Prosthodontics. 3. Auflage. Chicago: *Quintessence* 1997.
115. Shintani H., Satou J., Satou N., Hayashihara H., Inoue T. Effects of various finishing methods on staining and accumulation of *Streptococcus mutans* HS-6 on composite resins. *Dent Mater*; 1: 225-227; 1985.
116. Staufenbiel A. Vergleichende werkstoffkundliche Untersuchungen marktgängiger und neu entwickelter Verblendkomposite. Jena: *Med. Diss.* 2005.
117. Stevens J.P. Applied Multivariate Statistics for the Social Sciences. London: *Lawrence Erlbaum Associates*; 2002.
118. Stober T., Gilde H., Lenz P. Color stability of highly filled composite resin materials for facings. *Dent Mater*; 17: 87-94; 2001.
119. Trushkowsky R.D. Fabrication of a fixed provisional restoration utilizing a light-curing acrylic resin. *Quintessence Int*; 23: 415-419; 1992.
120. Türker S.B., Kocak A., Aktepe E. Effect of five staining solutions on the colour stability of two acrylics and three composite resins based provisional restorations. *Eur J Prosthodont Rest Dent*; 14: 121-125; 2006.
121. Uchida H., Vaidyanathan J., Viswanadhan T., Vaidyanathan T.K. Color stability of dental composites as a function of shade. *J Prosthet Dent*; 79: 372-377; 1998.
122. Vahidi F. The provisional restoration. *N Y State Dent J*; 51: 208-211; 1985.
123. van Groeningen G., Jongebloed W., Arends J. Composite degradation in vivo. *Dent Mater*; 2: 225-227; 1986.
124. Venz S. Effect of Photoaccelerators on Curing and Discolouration of Composites. *J Dent Res*; 66: 246; 1987.
125. Waerhaug J. Temporary restorations: advantages and disadvantages. *Dent Clin North Am*; 24: 305-316; 1980.
126. Wang R.L., Moore B.K., Goodacre C.J., Swartz M.L., Andres C.J. A comparison of resin for fabricating provisional fixed restorations. *Int J Prosthodont*; 2: 173-184; 1989.
127. Wassell R.W., St GG, Ingledew R.P., J.G. Steele. Crowns and other extracoronal restorations: provisional restorations. *Br Dent J* 192: 619-630; 2002.
128. Weber H. Koeck B., Kronen- und Brückenprothetik, Praxis der Zahnheilkunde. Band 5. Präparation und temporäre Versorgung. München , Stuttgart, Jena, Lübeck, Ulm: *Urban & Fischer* 1999.
129. Welker D. Meiners H, Lehmann KM (Hrsg): Klinische Materialkunde für Zahnärzte. Kunststoffe für die temporäre Versorgung. München, Wien: *Hanser* 1998.
130. Welker D., Rzanny A., Göbel R. Interimsversorgung bei Kronen- und Brückenersatz - Indikation, Werkstoffe, biologische Aspekte, Methodik. *Quintessenz Zahntech*; 25: 1133-1144; 1999.
131. Wirz J., Banger R., Jäger K. Kronen- und Brückenprovisorien, Teil I - Anforderungen. *Quintessenz*; 43: 1297-1305; 1992.
132. Witzel T. Klinische Untersuchung computergestützter Zahnfarbbestimmung im Vergleich zu visueller Abmusterung durch das menschliche Auge. Würzburg: *Med. Diss.* 2004.

133. Yaman P., Razzoog M.E., Brandau H.E. In vitro color stability of provisional restorations. *Am J Dent*; 2: 48-50; 1989.
134. Yannikakis S.A., Zissis A.J., Polyzois G.L., Caroni C. Color stability of provisional resin restorative materials. *J Prosthet Dent*; 80: 533-539; 1998.
135. Yeh C.L., Miyagawa Y., Powers J.M. Optical properties of composites of selected shades. *J Dent Res*; 61: 797-801; 1982.
136. Zbinden R. Grundlagen der Farbmatrik. Basel: *Tagungsbericht* 1962.

11 Anhang

11.1 Codierung der Prüfkörper

Zur eindeutigen Identifizierung des Prüfmaterials und der Prüfbedingungen wurden die Prüfkörper wie folgt codiert.

römische Zahl	arabische Zahl	Buchstabe	P oder 320
I = Protemp 3 Garant	1 bis 8	K Kaffee	P = Politur
II = Structur Premium	Probekörper	R Rotwein	320 = grobe
III = Luxatemp AM Plus		C Curcumin	Oberfläche
IV = PreVISION		D Aqua dest	
V = Dentalon Plus		X Zitronensäure	
		T Tee	
		Co Coca Cola	

So war beispielsweise ein Probekörper mit den Code III 2 R P aus Luxatemp AM Plus. Er ist von den acht Probekörpern pro Gruppe Probekörper Nummer 2, er lag in Rotwein und hatte eine polierte Oberfläche.

11.2 Tabellen der Ergebnisauswertung

11.2.1 Regressionsanalyse des Farbzustandes nach 4h

Tabelle 11.1: Regressionsanalyse des Farbzustandes nach 4h

Modell	R	R ²	Korr. R ²	Änderung in R ²	df1	df2	Änderung in Signifikanz
1	0,928	0,860	0,851	0,860	29	450	0,000
2	0,957	0,916	0,904	0,055	30	420	0,000

1 Einflussvariablen: (Konstante), Material, Farblösung, Material*Farblösung

2 Einflussvariablen: (Konstante), Material, Farblösung, Oberfläche, Material*Farblösung, Oberfläche*Material, Oberfläche*Farblösung, Oberfläche*Farblösung*Material

11.2.2 Regressionsanalyse des Farbzustandes nach 72h

Tabelle 11.2: Regressionsanalyse des Farbzustandes nach 72h

Modell	R	R ²	Korr. R ²	Änderung in R ²	df1	df2	Änderung in Signifikanz
1	0,981	0,962	0,959	0,962	29	450	0,000
2	0,985	0,970	0,966	0,009	30	420	0,000

1 Einflussvariablen: (Konstante), Material, Farblösung, Material*Farblösung
 2 Einflussvariablen: (Konstante), Material, Farblösung, Oberfläche, Material*Farblösung, Oberfläche*Material, Oberfläche*Farblösung, Oberfläche*Farblösung*Material

11.2.3 Regressionsanalyse des Farbzustandes nach 168h Thermowechselbelastung

Tabelle 11.3: Regressionsanalyse des Farbzustandes nach 168h TWB

Modell	R	R ²	Korr. R ²	Änderung in R ²	df1	df2	Änderung in Signifikanz
1	0,967	0,935	0,931	0,935	29	450	0,000
2	0,976	0,953	0,946	0,018	30	420	0,000

1 Einflussvariablen: (Konstante), Material, Farblösung, Material*Farblösung
 2 Einflussvariablen: (Konstante), Material, Farblösung, Oberfläche, Material*Farblösung, Oberfläche*Material, Oberfläche*Farblösung, Oberfläche*Farblösung*Material

11.2.4 Regressionsanalyse der Farbveränderung infolge Thermowechselbelastung

Tabelle 11.4: Regressionsanalyse der Farbveränderung infolge Thermowechselbelastung

Modell	R	R ²	Korr. R ²	Änderung in R ²	df1	df2	Änderung in Signifikanz
1	0,624	0,390	0,378	0,390	9	470	0,000
2	0,812	0,659	0,637	0,269	20	450	0,000

1 Einflussvariablen: (Konstante), Material, Farblösung
 2 Einflussvariablen: (Konstante), Material, Farblösung, Material*Farblösung

12 Erklärung

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

13 Danksagung

Ich bedanke mich bei

Prof. Dr. Bernd Wöstmann und *Prof. Dr. Markus Balkenhol* für die freundliche Überlassung des Themas sowie für die wertvollen Hinweise und die Unterstützung, die sie mir bei Ausführung und Verfassung der Arbeit zuteil werden ließen.

MTA Ulrich Heun, der mir immer mit Rat und Tat in labortechnischen Fragen zur Seite stand.

Dr. Jürgen Riehl für die Unterstützung bei der statistischen Auswertung der Daten.

Dr. Peter Rehmann, der mich immer in allen Fragen unterstützt und oft motiviert hat.

Ein ganz besonderer Dank gilt

meinen Eltern und *meinen Großeltern* für ihr Verständnis und ihr Vertrauen in mich. Ihr habt die Grundsteine für meinen Lebensweg gelegt. Ohne eure uneingeschränkte Unterstützung wäre ich nicht in der Position in der ich jetzt glücklicherweise bin.

meinem Freund Michael Müller zwar abschließend, aber von ganzem Herzen. Du hast mich stets mit einer guten Prise deines Humors ermutigt, an mich geglaubt und mich liebevoll unterstützt. Mit deinem fachlichem Know-how, deinen kritischen aber wertvollen Anmerkungen und deiner notwendigen Gelassenheit hast du entscheidend zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen.

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

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