

Aus der Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik
der Ludwig-Maximilians-Universität München
Direktor: Prof. Dr. med. dent. Daniel Edelhoff

Verfärbungsrate und Oberflächeneigenschaften moderner Verblendkomposite

Dissertation
zum Erwerb des Doktorgrades der Zahnmedizin
an der Medizinischen Fakultät der
Ludwig-Maximilians-Universität zu München

Vorgelegt von
Benedikt Claus Langwieder
aus Dortmund
2019

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät der Universität München

Berichterstatterin: PD Dr. rer. biol. hum. Dipl. Ing (FH) Bogna Stawarczyk, M.Sc.

Mitberichterstatter: Prof. Dr. Karin Huth

Prof. Dr. Andreas Fottner

Prof. Dr. Ekaterini Paschos

Betreuung durch die promovierte Mitarbeiterin :

PD Dr. med. dent. Anja Liebermann, M.Sc.

Tag der mündlichen Prüfung: 19.11.2019

Gewidmet meinen Omas,
die mich auf diesem Weg begleitet haben,
ihn aber nicht bis zum Ende mit mir gehen konnten.

Hinweise

Hinweis 1:

Die in der Dissertation verwendeten Gebrauchsnamen, Handelsnamen und Warenbezeichnungen sind teilweise patent- und urheberrechtlich geschützt. Auf eine besondere Kennzeichnung dieses Schutzes (®) wurde zugunsten der Lesbarkeit verzichtet. Das Fehlen der Kennzeichnung erlaubt daher keine Rückschlüsse auf fehlenden Schutz.

Hinweis 2:

Teile der vorliegenden Arbeit wurden bereits publiziert.

Langwieder B, von Hajmasy A, Stawarczyk B, Liebermann A. Verfärbungs- und Abrasionsbeständigkeit der modernen Verblendkomposite. Quintessenz Zahntech 2017;43:1564-1582.

Eidesstattliche Versicherung

Hiermit erkläre ich, Benedikt Claus Langwieder, geboren am 15. November 1991 in Dortmund, wohnhaft Klenzestraße 39, 80469 München, an Eides statt, die vorliegende Dissertation mit dem Thema

Verfärbungsrate und Oberflächeneigenschaften moderner Verblendkomposite

selbstständig verfasst, mich außer der angegebenen keiner weiteren Hilfsmittel bedient und alle den benutzten Quellen wörtlich oder sinngemäß entnommenen Erkenntnisse als solche kenntlich und unter Angaben ihres Fundortes einzeln nachgewiesen zu haben.

Des Weiteren erkläre ich, die hier vorliegende Dissertation nicht an anderer Stelle zur Erlangung eines akademischen Grades eingereicht zu haben.

Benedikt Langwieder

München, den 26. März 2019

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	7
2	Literaturübersicht.....	9
2.1	Klinische Relevanz und Entwicklung der Komposite.....	9
2.3	Chemischer Aufbau eines Verblendkomposits.....	12
2.4	Verfärbung.....	15
2.5	Freie Oberflächenenergie.....	18
2.6	Rauigkeit.....	21
2.7	Abrasionsbeständigkeit.....	24
3	Ziel der Dissertation.....	27
4	Material und Methoden.....	28
4.1	Materialien.....	28
4.2	Versuchsaufbau.....	29
4.3	Prüfkörperherstellung.....	30
4.4	Untersuchung der Verfärbung.....	37
4.5	Untersuchung der freien Oberflächenenergie.....	38
4.6	Untersuchung der Oberflächenrauigkeit.....	38
4.7	Untersuchung der Abrasionsbeständigkeit.....	39
4.8	Statistische Auswertung.....	42
5	Ergebnisse.....	43
5.1	Verfärbungsrate, freien Oberflächenenergie und Rauigkeit.....	43
5.2	Abrasionsbeständigkeit.....	109
6	Diskussion.....	116
6.1	Zusammenfassung.....	116
6.2	Diskussion der Testmethoden.....	116
6.3	Diskussion der Ergebnisse.....	120
7	Schlussfolgerung.....	133
8	Zusammenfassung.....	134
9	Verzeichnis.....	136
9.1	Literaturverzeichnis.....	136
9.2	Abkürzungsverzeichnis.....	141
9.3	Tabellenverzeichnis.....	142
9.4	Abbildungsverzeichnis.....	143
10	Danksagung.....	144

1 Einleitung

Diese Dissertation beschäftigt sich mit dem Vergleich von Oberflächenbeschaffenheiten, optischer Eigenschaften und der Abrasionsbeständigkeit verschiedener moderner Verblendkomposite. Verblendkomposite wurden entwickelt, um Gerüste und Konstruktionen für Zahnersatz hohen ästhetischen Ansprüchen entsprechend zu gestalten. Daneben gibt es weitere Faktoren wie die Haptik beim Biss, Kosten, Anwendbarkeit und materialbedingte Überlegenheit bestimmter Eigenschaften gegenüber alternativen Werkstoffen, die die Popularität des Komposits steigern. Allerdings haben Verblendkomposite auch materialbedingte Defizite verglichen mit alternativen Werkstoffen wie der Keramik, weshalb die Entwicklung und Verbesserung der Komposite stetig und rasch voranschreitet.

Verglichen wurden die Komposite daher nicht nur untereinander, sondern mussten sich auch der aktuellen Benchmark stellen, die in diesem Fall eine CAD/CAM Lithiumdisilikatkeramik setzte. Um einen möglichst engen klinischen Bezug herzustellen, wurden diejenigen Faktoren untersucht, die in der Anwendung bekanntermaßen die Lebensdauer limitieren: Verfärbung durch Lebensmittel mit entsprechend verfärbenden Inhaltsstoffen, die Oberflächenrauigkeit und die freie Oberflächenenergie, die beide einen großen Einfluss auf die Besiedelung durch orale Mikroorganismen haben, sowie die Abrasionsbeständigkeit des Materials und des antagonisierenden Zahnes, da der Erhalt der anatomischen Zahnform entscheidenden Einfluss auf die Funktion und Gesundheit des Gebisses hat.

Für die Untersuchung wurden Komposite verschiedener Hersteller gewählt. Alle stellen die jeweils neuste Generation der Entwickler dar. Auch bei dem keramischen Vergleichsmaterial handelt es sich mit der laut Hersteller weltweit meistverkauften Glaskeramik einerseits um einen modernen, andererseits auch um einen bewährten Werkstoff. In dieser Materialzusammensetzung gibt es bislang keine Untersuchung. Neben der Aktualität der Materialauswahl bedient diese Untersuchung auch die gegenwärtige Bedeutsamkeit der übergeordneten Thematik des Zahnersatzes an sich. Vor allem im Hinblick auf eine alternde Bevölkerung, Kostendruck und hohe Ansprüche der Patienten ist die Wahl der Materialien für den klinischen Alltag von hoher Relevanz, um den individuellen Erwartungen an den Zahnersatz bestmöglich gerecht zu werden.

Damit hier die beste Wahl getroffen werden kann, bedarf es Grundlagen, die aus wissenschaftlichen Untersuchungen gewonnen werden.

Das Zusammenfließen der thematischen Relevanz, der Aktualität der Materialien sowie des engen Bezugs zum klinischen Alltag zeichnet diese Untersuchung aus.

Diese Dissertation beschäftigt sich ausschließlich mit der Verfärbungsrate und Oberflächeneigenschaften der Werkstoffe. Zwar nehmen diese Charakteristika in der Praxis eine wichtige Rolle ein, dennoch sind sie nicht die einzigen Entscheidungskriterien, da auch die mechanischen Eigenschaften optimal zu der vorgesehenen Indikation passen müssen. Die Materialien stellen daher stets einen Kompromiss dar, allen Anforderungen zu genügen. Dieser Aspekt darf trotz der thematischen Limitierung dieser Dissertation nicht verkannt werden und sollte in der praktischen Anwendung stets in die Materialentscheidung einfließen.

2 Literaturübersicht

2.1 Klinische Relevanz und Entwicklung der Komposite

Die Eingliederung eines festsitzenden oder herausnehmbaren Zahnersatzes mit dem Ziel der Wiederherstellung optimaler funktioneller wie ästhetischer Verhältnisse im Mund ist nach wie vor ein wichtiger Bestandteil der modernen Zahnmedizin, wobei die Wünsche und Ansprüche der Patienten nach hervorragender Ästhetik stetig wachsen. Dafür steht eine Vielzahl an Werkstoffen und Werkstoffkombinationen zur Verfügung, die den physikalischen und optischen Eigenschaften des natürlichen Zahnes in unterschiedlicher Ausprägung entsprechen.

In den vergangenen Jahrzehnten spielte besonders Keramik für zahnfarbene Versorgungen eine wichtige Rolle. Sie vereint hervorragende Ästhetik, gute mechanische Eigenschaften und ausgezeichnete Biokompatibilität. Dem Indikationsbereich von Keramik sind jedoch Grenzen gesetzt, da Keramik physikalische Charakteristika aufweist, die sich sowohl negativ auf die Langzeitstabilität der Restauration, als auch auf die Unversehrtheit des Antagonisten auswirken können. Der hohe E-Modul und die Sprödigkeit von Keramik machen sie anfällig für Scherkräfte, was zum Abplatzen der Verblendung, dem sog. Chipping, führen kann. Chipping wird vor allem bei verblendeten Zirkonoxid-Gerüsten beobachtet¹. Die keramische Verblendung bei herausnehmbarem Zahnersatz birgt zudem eine hohe Frakturanfälligkeit bei versehentlichen Stürzen während der Pflege, und ist bei Parafunktionen wie Bruxismus kontraindiziert². Gerüstfreie Versorgungen wie okklusale Table Tops (Kauflächen-Veneers) sind in Keramik aufwändiger in der Herstellung und benötigen eine größere Schichtstärke als die Kompositwerkstoffe, was einen höheren Substanzabtrag bei der Präparation verlangt. Zudem zeigt Keramik im Vergleich zu Komposit einen höheren Verschleiß am Antagonisten³. Darüber hinaus beklagen Patienten mit antagonisierenden Keramikrestaurationen ein unangenehm keramisch-kirrendes Empfinden, das auf die fehlende dämpfende Wirkung zurückzuführen ist.

Kunststoff als Keramik-Alternative ist bereits seit 1936 gebräuchlich, als Zahntechniker Gottfried Rot polymerisiertes und gemahlene Polymethylmethacrylat mit seinem Monomer Methylmethacrylat mischte, um daraus Prothesenbasen herzustellen. Seitdem wurde dieses Produkt stets weiterentwickelt und durch drei entscheidende Entwicklungsschritte geprägt:

- 1.) Einführung von Bis-GMA, da größere Monomere zu weniger Schrumpfung führen.

- 2.) Verwendung von organischen Füllern aus gemahlenem Quarz, die zunächst nur eingelagert wurden.
- 3.) Modifizierung der Füller, sodass eine chemische Einbindung der Füller in die Matrix stattfinden konnte.

Diese Entwicklungen bilden die Grundlage der heute gebräuchlichen Verblendkunststoffe. Als Schwachpunkte dieses Werkstoffes galten, neben den optischen Einbußen durch die Verfärbung von sich bildenden Randspalten und Fugen⁴, auch mechanische Attribute wie z.B. eine verminderte Abrasionsbeständigkeit⁵ und eine erhöhte Plaqueakkumulation gegenüber natürlicher Zahnhartsubstanz oder Keramik⁶. Diese können die Lebensdauer der Kunststoffverblendung mindern. Hinzu kommt bei der Verwendung von Bis-GMA die Aufnahme von Wasser, die einerseits die Spannungen innerhalb des Polymers ausgleichen kann, indem die Intramolekularabstände erweitert werden (sog. Weichmachereffekt)⁷, andererseits jedoch die Widerstandsfähigkeit gegenüber Abrasion sowie die mechanischen Eigenschaften herabsetzt. Die Folge können Versprödung und Transparenzminderung des Materials sein^{8,9}. Die Wasseraufnahme führt zudem zur Hydrolyse der Silanverbindungen zwischen Matrix und Füllstoffen bzw. Metall und in Folge dessen zur Randspaltbildung^{10,11}. Diese sind jedoch bei Kompositen weniger entscheidend, da sie nachgeschichtet oder mit relativ wenig Aufwand erneuert werden können.

Dennoch hat Komposit als Verblendmaterial heute einen hohen Stellenwert. Dank der stetigen Weiterentwicklung und Modifikation der Monomere und Füller sind die Eigenschaften einiger Komposite so gut, dass Werkstücke auch ohne stabilisierendes Legierungs- oder Zirkondioxidgerüst in den Indikationsbereich inkludiert sind. Nicht zuletzt die vergleichsweise einfache und günstige Reparierbarkeit und der Kostendruck der Krankenkassen begünstigen diese Entwicklung¹².

Allgemein ergeben sich neben der klassischen Gerüstverblendung drei Hauptindikationen für Verblendkomposite der neusten Generation:

- **Gerüstofffreie Restaurationen:** Inlays, Onlays, Table Tops und besonders Veneers und sog. „Chips“ als non- oder minimalinvasive Therapieoption. Sie sind im Vergleich zu glaskeramischen Materialien weniger bruchanfällig in der Herstellung und bei der Eingliederung. Darüber hinaus liefern sie ein besseres Endergebnis im Hinblick auf eine

möglichst schmale Klebefuge. Grund dafür sind der niedrigere E-Modul und die geringere Abrasionsbeständigkeit, die ein optimales Anpolieren und extrem dünnes Auslaufen der Ränder ermöglicht.

- **Implantatgetragener Zahnersatz:** Bei herausnehmbarem oder bedingt-herausnehmbarem Zahnersatz mit Zirkonoxidgerüst sinkt bei Verwendung von Kompositverblendungen das Risiko von Verblendfrakturen¹³. Patienten, die antagonistischen keramischen Zahnersatz nutzen, berichten von einem angenehmeren Gefühl beim Umstellen einer Versorgung auf Kunststoff. Dies liegt in den dämpfenden Eigenschaften des Kunststoffes begründet. Auch im Fall der Implantatversorgung für Einzelkronen liegt das Dämpfungsverhalten bei Kronen aus Kunststoff näher an dem eines natürlichen Zahnes als jenes einer vollkeramischen Restauration¹⁴.
- **Gingivarekonstruktion:** Die Imitation des Weichgewebes ist besonders in der herausnehmbaren Prothetik für eine ansprechende Rot-Weiß-Ästhetik unerlässlich. Sie kaschiert starke Rezessionen oder lange Zahnhälse von Pfeilerzähnen, Geweberückgang durch Knochenverlust, Implantate und Verankerungselemente und sorgt zudem für ein ausgewogenes Gingiva-Zahn-Verhältnis.

Bei der Herstellung unterscheidet sich der Umgang mit Komposit insofern vom Keramik-Workflow, als dass Komposit nicht gebrannt, sondern, abgesehen von geringen Herstellerspezifischen Unterschieden, in Lichtöfen polymerisiert werden muss, um den Werkstoff von der plastischen in die feste (auspolymerisierte) Phase zu überführen. Dabei kann Kunststoff analog zu Keramik sowohl geschichtet als auch überpresst oder in einer Kombination aus beidem in der Press-Schicht-Technik verarbeitet werden.

Bei den Polymerisationsgeräten werden drei Arten von Lichtquellen unterschieden. Einerseits stehen Halogenlampen zur Verfügung, die ein breites Lichtspektrum bedienen und durch eine relativ hohe Wärmeentwicklung charakterisiert sind, die als zusätzlicher Vergütungseffekt genutzt werden kann. Andererseits gibt es Polymerisationsgeräte, die lichtemittierende Dioden (LED) nutzen. Sie sind gekennzeichnet durch eine hohe Energieeffizienz und geringe Wärmeentwicklung. Das Lichtspektrum ist eingeschränkt, der Einsatz verschiedener LEDs unterschiedlicher Spektren kann es jedoch erweitern. In der dritten Gruppe werden kaltlichtemittierende Leuchtstoffröhren verwendet, die keine Wärme entwickeln und einen eingeschränkten Spektralbereich bedienen. Die Wahl der Polymerisationseinheit muss auf das Initiatorsystem

des Komposits abgestimmt sein, damit die von den jeweiligen Initiatoren geforderte Wellenlänge optimal bedient wird. Aus diesem Grund sind auch nicht alle Polymerisationsgeräte mit jedem Komposit kompatibel und die Herstellerangaben sollten beachtet werden. Einige Produkte müssen darüber hinaus nachvergütet werden. Zu diesem Zweck stehen auf die Initiatorsysteme angepasste Polymerisationsgeräte zur Verfügung, die die Polymerisation unter Vakuum durchführen. Diese sollen die Entstehung der oberflächlichen Sauerstoffinhibitionschicht vermeiden oder die Wärmeentwicklung der Halogenlampen nutzen und durch geregeltes Wärmemanagement eine Verbesserung der Eigenschaften erzielen.

2.3 Chemischer Aufbau eines Verblendkomposits

In nicht polymerisiertem Zustand sind zwischen organischen Monomeren verschiedener Methacrylate silanisierte anorganische Füllstoffe eingelagert. Angelehnt an die Art und Partikelgröße der Füllstoffe lassen sich die Komposite in Hybrid- oder Mikrofüllkörperkomposite kategorisieren. Neben diesen Hauptbestandteilen beinhalten Komposite auch Initiatoren wie Kampherchinon, die die Polymerisationsreaktion initiieren, Pigmente für die Farbgebung, Rheologiemodifizierer zur Steuerung der Plastizität und Stabilisatoren, meist Phenolderivate, die der vorzeitigen Aushärtung durch Übertragung eines Wasserstoffatoms auf die Radikale entgegenwirken.

Die Komposition der unterschiedlichen Bestandteile ist ausschlaggebend für die Materialcharakteristika. Sie lassen sich nicht an einzelnen Ingredienzien festmachen. Eine Rolle spielen hier die Zusammensetzung der Monomere^{15,16}, Größe und Gehalt der Füllkörper sowie die Silanisierung der Füllkörper, um einen chemischen Verbund mit der Monomermatrix zu erzielen⁵.

Polymermatrix

Bereits 1962 nutzte Bowen Bis-GMA zur Herstellung dentaler Komposite¹⁷. Bei Bis-GMA handelt es sich, im Vergleich zu anderen Monomeren, um ein relativ großes Molekül mit dem Aufbau eines Aromats mit zwei Phenolringen in der Mitte und Hydroxylgruppen in den Seitenketten. Deren Fähigkeit, Wasserstoffbrückenbindungen auszubilden und die starre Molekülstruktur verleihen dem wenig volatilen Bis-GMA eine hohe Viskosität und es härtet sehr schnell aus. Dies äußert sich allerdings in einer vergleichsweise geringeren Konversionsrate, da der Gel-Punkt während der Aushärtung schnell überschritten wird¹⁵. Andererseits verdankt Bis-GMA seiner Molekülgröße und deren Aufbau mit ca. 5%¹⁸ einen geringeren Volumenverlust

während der Polymerisation und rigide, starre Materialeigenschaften nach der Aushärtung. Die Hydroxylgruppen machen Bis-GMA relativ hydrophil und begünstigen die Wasseraufnahme¹⁵.

Um dessen Verarbeitbarkeit zu erleichtern und die Beimengung von Füllkörpern zu ermöglichen, wurde Bis-GMA mit dem deutlich weniger viskosen, kurzkettigen TEGDMA verdünnt^{17,19}. Dank seines kettenartigen Aufbaus ist TEGDMA deutlich flexibler und rotationsfähiger, was gegenteilige Eigenschaften zu Bis-GMA zur Folge hat: höhere Konversionsrate, höherer Schrumpfung bei der Aushärtung und weichere Materialeigenschaften. Darüber hinaus zeigt TEGDMA eine niedrigere Wasseraufnahme als Bis-GMA, was auf die geringe Anzahl der Hydroxylgruppen zurückzuführen ist. Allerdings wird nichtvernetztes TEGDMA von Wasser aus dem Gefüge gelöst und ersetzt, sodass mit dessen Gehalt auch die Wasseraufnahme steigt¹⁰. In Kombination mit Bis-GMA senkt TEGDMA dessen Viskosität, nicht aber zwangsweise dessen mechanische Eigenschaften¹⁶, da in Folge der niedrigeren Viskosität die Konversionsrate steigt¹⁶. Darüber hinaus ist die Viskositätssenkung nötig, um Füllstoffe beimengen zu können^{17,19}. TEGDMA zeigt eine niedrigere Verfärbungsneigung als Bis-GMA²⁰, jedoch auch eine höhere Löslichkeit¹⁵.

Als Alternative zu Bis-GMA wird UDMA eingesetzt. Mit einem ähnlichen Molekulargewicht wie Bis-GMA ist die Molekülgröße vergleichbar¹⁵. Ein entscheidender Unterschied ist jedoch der langkettige aliphatische Aufbau mit Einfachbindungen, die nahezu freie Rotation erlauben und UDMA Flexibilität und Beweglichkeit verleihen¹⁰. Das macht UDMA weniger viskos und ist ursächlich für eine höhere Konversionsrate als in einer Bis-GMA-TEGDMA Mischung¹⁵. Die höhere Konversionsrate ist zudem ausschlaggebend für die höhere Widerstandsfähigkeit und die verbesserten mechanischen Eigenschaften gegenüber Bis-GMA, weil weniger Polymer-schwächende, nicht umgesetzte Doppelbindungen, im Gefüge verbleiben¹⁵. Das daraus resultierende dichtere Netzwerk ist zudem weniger affin für eindiffundierende Farbstoffe, weil die Maschendichte geringer ist²¹. Aufgrund fehlender Hydroxylgruppen ist UDMA weniger hydrophil und gilt als weniger zytotoxisch, da UDMA weniger Methacrylatgruppen und einen geringeren Restmonomergehalt besitzt und per se keine Umwandlung in Bisphenol-A möglich ist¹⁵.

Füllstoffe

Ursprünglich wurden die Füllkörper eingesetzt, um dem Prinzip der Volumensubstitution folgend den polymerisationsbedingten Schrumpfung zu minimieren¹⁰. Sie verbessern darüber hinaus auch die optischen und mechanischen Eigenschaften. Als Füllstoffe werden zumeist pyrolytisch

erzeugtes Siliziumoxid, Glas- und Keramikpartikel oder gemahlene Präpolymerisate verwendet (siehe auch Tabelle 1). Sie variieren in der Größe (0,10-4 μm) und deren Anteil (50-85 Gew.%), wobei die meisten Komposite den Hybridkompositen zuzuordnen sind. Dabei stellen einige jedoch auch Vertreter der Mikrofüllkörperkomposite dar, da sie als Füllstoff alleinig Siliziumdioxid im Nanometerbereich enthalten²². Ein steigender Füllstoffgehalt korreliert mit zunehmendem Biegefestigkeit²³, höherer Härte, höherem E-Modul und ermöglicht die Anpassung des Wärmeausdehnungskoeffizienten²⁴. Es konnte eine Wechselbeziehung zwischen Füllkörpergehalt und Abrasionsbeständigkeit nachgewiesen werden, wonach mit steigendem Füllkörpergehalt die Resistenz gegen Abrasion ebenfalls zunimmt^{25,26}, wobei hier auch die Art der Füller relevant ist²². Die chemische Zusammensetzung und der Anteil haben eine größere Auswirkung auf die Abrasionsbeständigkeit als die Größe und Verteilung der Füller²⁷. Wichtig für die Ästhetik ist die Auswahl der Füllkörper, wobei sich die Brechungsindizes der Matrix und Füller entsprechen sollten. Falls sich diese nicht gleichen, kann es durch unterschiedliche Brechung zur Lichtstreuung kommen, was sich in einer hohen Opazität widerspiegeln würde. Der Werkstoff würde dann im Gegensatz zur natürlichen Zahnhartsubstanz lichtundurchlässig. Darüber hinaus ermöglicht die gegenseitige Anpassung der Brechungsindizes eine adäquate Durchhärtung der Kompositschichten bei der Lichthärtung¹⁰.

Neben Gehalt und Art der Füllstoffe ist auch die Größe interessant, die ebenfalls Aussagen über die Eigenschaften des Komposits erlaubt. Anhand der Füllstoffgröße werden Komposite zunächst in verschiedene Klassen unterteilt. 1981 wurde eine Einteilung in konventionelle Komposite, homogene und inhomogene Mikrofüllerkomposite sowie Hybridkomposite etabliert²⁸. Der heutigen Produktpalette wird diese Einteilung jedoch nicht mehr gerecht, da sich im Laufe stetiger Verbesserung Mikro- und Hybridkomposite mit den aussichtsreichsten Entwicklungen herauskristallisiert haben²². Innerhalb der Hybridkomposite handelt es sich um Differenzierungen in Feinpartikelhybride (<5 μm), Feinstpartikelhybride (<3 μm) und Mikrohybride (<1 μm). Die meisten Komposite sind heute den Hybridkompositen zuzuordnen, nur einige den Mikrofüllkörperkompositen, da sie als Füllstoff alleinig Siliziumdioxid im Nanometerbereich enthalten²².

Aus den Füllern werden kontinuierlich Substanzen freigesetzt, da sie zwar schwer, jedoch nicht unlöslich sind. Quarz und Siliziumoxid zeigen sich dabei stabiler als Glasmodifikatoren, wie beispielsweise Barium, Strontium, Natrium²⁹. Harte Füllkörper wie Zirkonoxidpartikel oder Quarz (Siliziumoxid) verursachen am Werkstoff selbst und an antagonisierender Zahnhartsubstanz einen höheren Verschleiß und führen zu einer Aufrauung der Oberfläche, wohingegen

weichere Füller wie Barium-Silikat-Füller eine geringere Eigen- und Antagonistenabration verursachen und einen glatteren Abschleiß hinterlassen^{26,30}. Eine Darstellung der Kompositstruktur zeigt Abbildung 1.

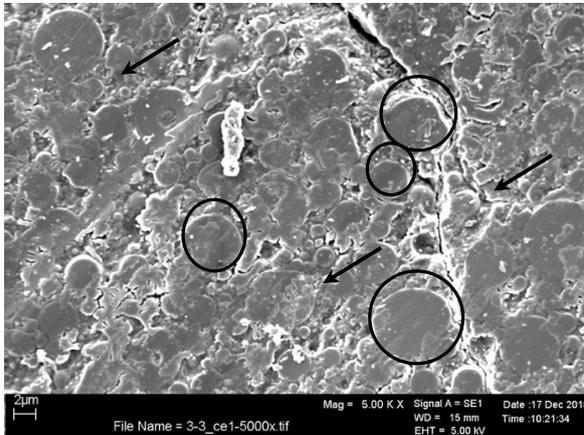


Abb. 1 - REM-Aufnahme in 5000facher Vergrößerung der Abrasionsfläche eines Prüfkörpers ermöglicht einen genaueren Blick auf die Bestandteile des Komposits. Die zum Teil angeschliffenen Füllkörper stellen sich als rundliche, homogene Strukturen dar und wurden beispielhaft eingekreist. Die Matrix, beispielhaft mit Pfeilen markiert, umgibt die Füllkörper. Sie ist teilweise oberflächlich ausgewaschen und abradert.

2.4 Verfärbung

Verfärbungen von Verblendkompositen sind im Laufe der Gebrauchsperiode nach wie vor problematisch. Dabei kommt es vor allem zu einer Verdunklung der prothetischen Restauration und einer Farbveränderung in Richtung gelb und rot³¹. Die Ursachen hierfür sind vielfältig³². Die subjektive Wahrnehmung ist bei der Bewertung allerdings ungeeignet, da sie diversen Einflussfaktoren unterliegt und nicht reproduzierbare Ergebnisse liefert³³. Sie ist unter anderem abhängig vom Betrachter und Geschlecht, da die Farbtüchtigkeit individuell variiert³⁴, den Lichtverhältnissen und der Farbe des Untergrundes, des Blickwinkels³⁵ und der Beschaffenheit der Oberfläche³⁶. Daher ist der Einsatz einer objektiven Messmethode unverzichtbar. Ein gängiges und anerkanntes Verfahren ist die Bestimmung des ΔE -Wertes (Verfärbungswert) mittels Spektrophotometrie. Diese Praktik findet ihren Ursprung in dem 1931 von der CIE (Commission Internationale de l'Éclairage) eingeführten System, das darauf basiert, einen Farbeindruck durch das Mischungsverhältnis der drei Primärfarben rot, gelb und blau wiederzugeben. Da sich dieses System jedoch zur Bewertung von Farbunterschieden als unpraktisch erwies, wurde daraus 1971 das CIELAB-System entwickelt, das in einem dreidimensionalen Koordinatensystem einen L*-Vektor für die Helligkeit, einen a*-Vektor für die rot-grün-Komponente und einen Vektor b* für die gelb-blau-Komponente vorsieht, die zu einem Farbdifferenzvektor ΔE^*_{ab}

zusammengefasst werden können. Dieser entspricht der Farbwahrnehmung des menschlichen Auges. Das CIELAB-System ist genormt (EN ISO 11664-4 „Colorimetry -- Part 4: CIE 1976 L*a*b* Colour space“) und damit geräteunabhängig. Hinter dem ΔE^*_{ab} Wert steht folgende Formel, anhand derer sich die Farbdifferenz der mit Hilfe durch Transluzenzmessung ermittelten Einzelwerte errechnen lässt:

$$\Delta E_{a,b} = \sqrt{(L_a - L_b)^2 + (a_a - a_b)^2 + (b_a - b_b)^2} \quad 37$$

In der Literatur wird ein Wert von $\Delta E \leq 3,3$ als Grenzwert für klinisch noch tolerable Verfärbung angegeben³⁸, wobei für zahnmedizinisch geschultes Personal eine Wahrnehmungsgrenze bei einem ΔE -Wert von 1,8 und für ungeübte Patienten teils bereits von 2,7 festgestellt wurde³⁹.

Verfärbung von Restaurationsmaterialien werden in intrinsische und extrinsische Verfärbungen unterteilt. Der Begriff intrinsische Verfärbung bezieht sich hier auf Ursachen, die aus dem Kunststoff selbst entstehen, also chemische Prozesse, die eine Veränderung in der Kunststoffstruktur zur Folge haben. Beispiele hierfür sind unverbrauchte Initiatoren, wobei davon lighthärtende Kunststoffe weniger betroffen sind als selbsthärtende Kunststoffe, da das UV-sensible Kampherchinon durch die Lichtreaktion von einem gelben in einen neutralen Farbton wechselt³⁶. Bei unsachgemäß warmer Lagerung oder Lagerung über das empfohlene Verbrauchsdatum hinaus kann es zum Abbau von Benzoylperoxid und damit verbundener Aminbildung kommen, die den Komposit gelblich verfärben⁴⁰. Auch die Polymermatrix scheint eine Rolle zu spielen. Es wurde ein Zusammenhang von steigendem Bis-GMA-Anteil mit sinkender intrinsischer Verfärbungsneigung gefunden⁴⁰, eine neuere Studie sieht in der Abwesenheit von Bis-GMA und der Substitution von UDMA keinen Einfluss auf die Verfärbung, während für die Anwesenheit von HEMA eine höhere Verfärbung diskutiert wird⁴¹.

Neben der intrinsischen Verfärbung verursachen auch An- und Einlagerungen von Farbstoffen eine Farbveränderung. Diese extrinsischen Verfärbungen spielen in der Praxis die Hauptrolle der Verfärbungsproblematik⁴² und werden typischerweise von Nahrungsbestandteilen wie den Melanoidinen aus Kaffee, Theaflavin aus Tee, Kumin aus Curry-Lösung, Tannine, die beispielsweise in Rotwein vorkommen, Carotin aus Milchprodukten oder Karotten, Chlorhexidin aus Mundspüllösungen und Teerkondensate und Nikotin aus Zigarettenrauch verursacht^{31,43}, indem sie sich auf der Oberfläche ablagern und irreversible Verbindungen mit der Matrix eingehen⁴⁴. Dabei gelten Kaffee^{33,41,45,46} und Rotwein^{3,22,42,44,47} als potenteste Verfärber.

Um das extrinsische Verfärbungsrisiko zu minimieren, gilt es als erstrebenswert, die Einflussfaktoren Rauigkeit und freie Oberflächenenergie, die Adhäsionsfaktoren für Mikroorganismen und verfärbende Partikel darstellen, möglichst gering zu halten⁴⁸.

Die Verfärbung wird als multifaktorielles komplexes Phänomen betrachtet³⁶. Die Affinität zu verfärbenden Substanzen ist maßgeblich von der Verarbeitung des Kunststoffes abhängig, speziell von der Oberflächenbeschaffenheit^{31,48}. Bei der Polymerisation von Laborkompositen entsteht ebenso wie bei Kunststoffen für den direkten Gebrauch eine 0,1-0,15 µm dicke Sauerstoffinhibitionsschicht, die für die inkrementelle Schichtung notwendig ist, für die Resistenz gegen Farbstoffe jedoch einen Nachteil darstellt⁴⁹. Zudem hat auch die Politur der Oberfläche entscheidenden Einfluss auf die Farbbeständigkeit⁵⁰. Sie minimiert Rauigkeiten, die die Anlagerung für im Speichel enthaltene Mikroorganismen, Epithelzellen, Farbstoffe und Nahrungsbestandteile begünstigen können⁶. Auch die Materialzusammensetzung ist von Bedeutung. Es wird eine geringere Verfärbung beschrieben je höher der Füllstoffgehalt ist³². Jedoch konnte dieses Ergebnis nicht überall bestätigt werden²⁶. Mikrogefüllte Komposite neigen stärker zu Verfärbungen als Hybridkomposite^{44,47,51}.

Da sich Verfärbungen nicht gänzlich vermeiden lassen, besteht die Notwendigkeit regelmäßiger Pflege und Reinigung. Intrinsische Verfärbungen lassen sich nicht beseitigen, eine Nachpolitur gewährt Verbesserungen nur im messbaren, nicht im sichtbaren Bereich³³. Grundsätzlich hat die Lagerungszeit sowie die Interaktion zwischen Material und Lagermedium einen entscheidenden Einfluss auf die Farbveränderung⁴¹.

Die Verfärbungsneigung moderner Verblendkomposite (getestet wurden SR Adoro (Ivoclar Vivadent, Schaan, Lichtenstein), VITA VM LC (VITA Zahnfabrik, Bad Säckingen, Deutschland), Estenia (Kuraray Noritake, Hattersheim, Deutschland), Ceramage (Shofu, Kyoto, Japan), bellGlass (Kerr, Biberach, Deutschland), Sculpture (Generic/Pentron, Rastatt, Deutschland), Dialog (Schütz-Dental, Rosbach, Deutschland), Sinfony (3M, Neuss, Deutschland), Cristobal+ (DeguDent, Hanau-Wolfgang, Deutschland)) war deutlich geringer als die ihrer Vorgänger. Die Produkte wurden vier Wochen lang in Zubereitungen aus Tee, Kaffee, Tabak, Rotwein, Methylenblau und destilliertem Wasser gelagert und sind hier nach absteigender mittlerer Farbdifferenz aufgezählt²². Die Unterschiede zwischen den Produkten verschiedener Hersteller waren gering, allerdings offenbarten die Mikrofüllerkomposite etwas höhere Verfärbungswerte²². Dies bestätigt eine weitere Untersuchung, in der jeweils nach 1, 7, 28, 90, 180 Tagen sowie anschließender erneuter Politur nach Lagerung in schwarzem Tee, Kaffee und Rotwein

die Farbdifferenz evaluiert wurde. Im Vergleich von Gradia (GC Europe, Leuven, Belgien), Sinfony und VITA VM LC wurde Rotwein die höchste, gleichzeitig klinisch nicht akzeptable Verfärbung nachgewiesen⁴⁴. Dass die Einwirkzeit einen Einfluss hat und die Affinität der verschiedenen Komposite gegenüber den unterschiedlichen Verfärbern variiert, zeigt eine Untersuchung anhand von Messungen in wöchentlicher Taktung über einen Zeitraum von vier Wochen nach Lagerung in Kaffee, Tee, Schokolade und destilliertem Wasser. Für Sinfony wurde eine signifikant höhere Verfärbung als für die Vergleichsprodukte Signum (Heraeus Kulzer, Hanau, Deutschland), Gradia und Ena HRi (Micerium, Busswill, Schweiz) ermittelt⁴¹. Im Vergleich unterschiedlicher Komposit-Materialien nach Lagerung in Rotwein, Schwarztee, Chlorhexidin, Teebaumöl und destilliertem Wasser wurde eine Abhängigkeit der Verfärbung vom Lagerungsmedium nachgewiesen. Rotwein verursachte die stärksten Verfärbungen, wobei eine höhere Verfärbungsneigung des Mikrofüllkomposits im Vergleich zum Nanohybridmaterial auftrat⁴⁷. Im Vergleich von CAD/CAM- und konventionell geschichteten Kompositversorgungen zeigten SR Adoro ($\Delta E=7,1$) und Premise Indirect (Kerr, $\Delta E=11,4$) als Vertreter der konventionellen Laborkomposite geringere ΔE -Werte als die CAD/CAM-Vertreter Paradigm MZ100 und Lava Ultimate (beide 3M, $\Delta E=14,6$ bzw. $14,8$) bei vierwöchiger Lagerung mit wöchentlicher Messung in schwarzem Tee, Kaffee und Rotwein⁵².

Abschließend lässt sich festhalten, dass die Farbstabilität von Keramik indikationsgleichen Kompositen überlegen ist³, sich die Differenz zwischen beiden jedoch verringert²⁶.

2.5 Freie Oberflächenenergie

Innerhalb einer Flüssigkeit herrschen zwischen Molekülen Kohäsionskräfte. Sie heben sich im Inneren der Flüssigkeit durch das Wechselspiel mit benachbarten Molekülen auf; an der Oberfläche fehlen Nachbarmoleküle und damit die nach außen gerichtete Kraft, sodass eine Kraft in Richtung Flüssigkeitsinneres resultiert. Sie ist die Ursache für die Oberflächenspannung (σ_l) und sorgt bei Abwesenheit äußerer Kräfte für die Bildung einer minimalen Oberfläche. Tritt die Flüssigkeit mit einem Festkörper in Kontakt, kommt es zu Wechselwirkungen mit dessen Oberfläche, die sich als äußere Krafteinwirkung auf die Flüssigkeit verstehen lässt. Die Arbeit (ΔW), die zur daraus resultierenden Vergrößerung der Phasenoberfläche (ΔA) verrichtet wird, wird als freie Oberflächenenergie (σ_s) bezeichnet (Abb. 2). Sie ist als Energie pro Fläche zu verstehen und wird in mJ/m^2 bzw. in mN/m angegeben⁵³.

$$\sigma_s = \frac{\Delta W}{\Delta A} \text{ [mN/m]}$$

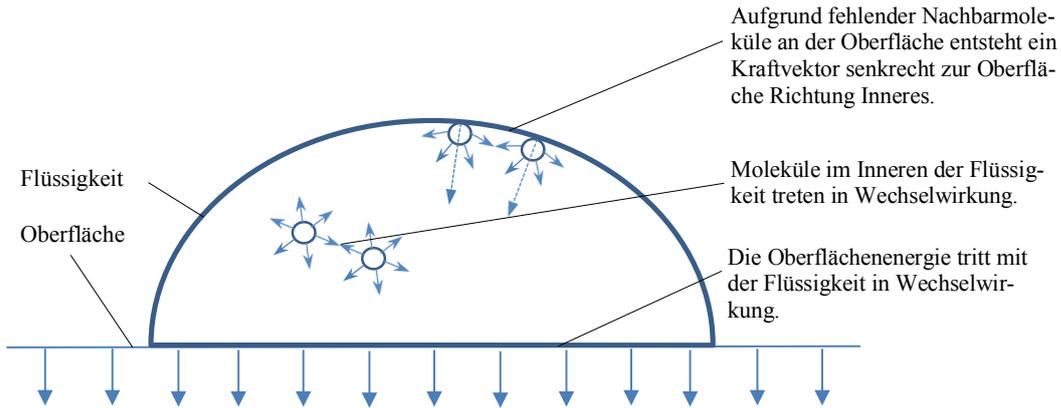


Abb. 2 - Schematische Darstellung der Oberflächenspannung beim Kontakt der Flüssigkeit mit einem Feststoff.

Die intramolekularen Kohäsionskräfte sind auf unterschiedliche Arten von Wechselwirkungen zurückzuführen, insbesondere disperse und polare. Disperse Wechselwirkungen entstehen durch zeitliche Fluktuation von Ladungsverteilungen (Van-der-Waals-Kräfte) und polare durch Coulomb-Wechselwirkungen zwischen Dipolen (z.B. Wasserstoffbrückenbindungen). Dementsprechend setzt sich die Oberflächenspannung bzw. die freie Oberflächenenergie additiv aus beiden Anteilen zusammen⁵⁴.

Die freie Oberflächenenergie hat entscheidenden Einfluss auf die Benetzbarkeit eines Feststoffes. Sie wird indirekt über den Kontaktwinkel (θ , in Grad) meist verschiedener Flüssigkeiten gemessen. Dieser entsteht zwischen der Flüssigkeitsoberfläche und dem Umriss der Grenzfläche zwischen Flüssigkeit und Feststoff und steht nach der Young'schen Gleichung wie folgt mit der Oberflächenspannung der Flüssigkeit (σ_l , in mN/m), der Grenzflächenspannung zwischen Flüssigkeit und Feststoff (σ_{sl} in mN/m) sowie dessen freier Oberflächenenergie (σ_s , in mN/m) im Verhältnis (Abb. 3)⁵³:

$$\sigma_s = \sigma_{sl} + \sigma_l * \cos \theta$$

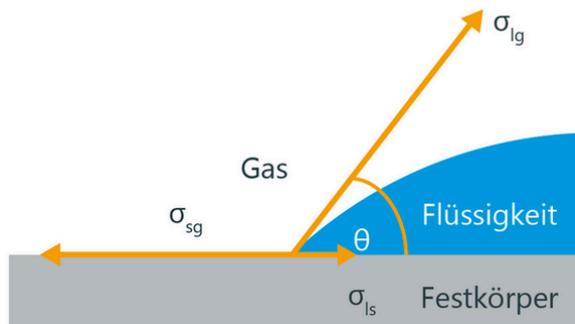


Abb. 3 - Schematische Darstellung des Kontaktwinkels⁵³.

Unterschiedliche Messmethoden werden zur Bestimmung der Oberflächenenergie angewandt. Neben der Wilhelmy-Plattenmethode, der Pulverkontaktwinkelmessung und der Aufsichtsdistanzmethode kommt vor allem die Tropfenkonturanalyse zum Einsatz. Bei der Tropfenkonturanalyse wird der Kontaktwinkel anhand des Bildes eines liegenden Tropfens am sog. Dreiphasenpunkt, dem Schnittpunkt zwischen Tropfenkontur und Projektion der Oberfläche, gemessen. Abhängig von der Interpretation der Wechselwirkungen existieren verschiedene Rechenmodelle⁵⁴.

Die Bedeutung der freien Oberflächenenergie für dentale Verblendmaterialien wird kontrovers diskutiert. Zunächst sollte beachtet werden, dass es sich bei der Angabe der freien Oberflächenenergie, sofern nicht weiter spezifiziert, um die Summe des dispersen und polaren Anteils handelt. Wie groß die jeweiligen Anteile sind, wird daraus nicht ersichtlich, spielt aber für die Benetzung mit Speichel und den darin enthaltenen Partikeln und Mikroorganismen insofern eine Rolle, als dass sie jeweils unterschiedliche Polarität besitzen und damit die Affinität zur Oberfläche variiert. Dass die freie Oberflächenenergie einen Einfluss auf die bakterielle Besiedelung einer oralen Oberfläche und damit als Risikofaktor für Verfärbung und Materialschwächung verstanden werden kann, zeigen unterschiedliche Studien. Bereits 1990 wurde gezeigt, dass auf glatter Oberfläche die freie Oberflächenenergie die bakterielle Besiedelung positiv beeinflusste. Als Gründe wurden die niedrigere Bindungskraft bei niedrigerer Oberflächenenergie, die gleichzeitig eine selektive Adhärenz und eine schwächere Bindung bedingt, genannt⁵⁵. 1995 konnte gezeigt werden, dass die Bakterienadhäsion umso leichter und schneller vollzogen wird, je höher die freie Oberflächenenergie ist. Darüber hinaus wurde eine Begünstigung der Besiedelung beschrieben, je mehr die Oberflächenenergie des Substrates und des Bakteriums übereinstimmen⁴⁸. Die positive Korrelation zwischen freier Oberflächenenergie und Proteinbindung wurde bei der Untersuchung von Implantatoberflächen ebenfalls bestätigt⁵⁶. Neben der indirekten positiven Korrelation zwischen Benetzbarkeit und Biofilmformation konnte ebenfalls nachgewiesen werden, dass der polare Anteil der Oberflächenenergie exponentiell mit dem keramischen Gewichtsanteil des Komposits steigt, während der disperse Anteil der Oberflächenenergie linear mit dem Gewichtsanteil der organischen Matrix im Zusammenhang steht⁵⁷. Auch andere Studien konnten die höhere Oberflächenenergie von Glas im Vergleich zu Polyether nachweisen⁵⁸. Die freie Oberflächenenergie von Verblendkompositen wurde bisher wenig untersucht. Im Vergleich wenig, mittel und hochgefüllter Komposite wurde mit zunehmendem Fülleranteil eine höhere Oberflächenenergie ermittelt, wobei der polare Anteil mit dem

Fülleranteil stieg. Mit der Dauer der Lagerung nimmt die Oberflächenenergie der niedrig-gefüllten Komposite stärker zu als die der mittel- und hochgefüllten Komposite⁵⁹. Dennoch spielt die freie Oberflächenenergie gegenüber der Rauigkeit eine untergeordnete Rolle, was die Affinität zu bakterieller Besiedlung⁵⁵ betrifft.

2.6 Rauigkeit

Die Rauigkeit eines Werkstoffes ist ein Maß für die Feingestaltabweichung von seiner idealen Oberfläche, in diesem Fall von einer idealen glatten Oberfläche, die bei der Kompositoberfläche angestrebt wird. Dabei ist zunächst die wirkliche Oberfläche, die einen Werkstoff von der Umgebung trennt, von der Ist-Oberfläche, die messtechnisch erfasst werden kann, abzugrenzen. In der vorliegenden Dissertation wird der Begriff Oberflächenrauigkeit daher im Sinne der messbaren Ist-Oberfläche verwendet. Sie unterteilt sich in die Abweichungsformen Rillen, Riefen und Gefügestruktur, wobei sich hinter dem Begriff der Rauigkeit eine Überlagerung der drei Abweichungsformen verbirgt. Grobformabweichungen wie Formabweichung und Welligkeit der Oberfläche werden bei der Messung in der Regel mittels Filter aus der Berechnung der Rauigkeit ausgeschlossen. Dem Filter liegt eine definierte Grenzwellenlänge zu Grunde, die die Unterscheidung zwischen Wellenlängen und Welligkeit definiert (Abb. 4).

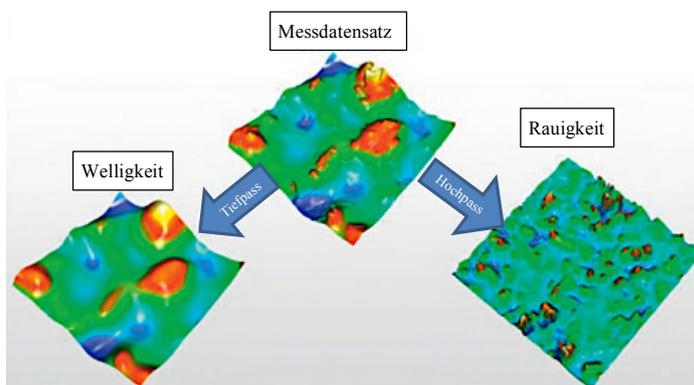


Abb. 4 - Schematische Darstellung von Grob- und Feinprofil⁶⁰

Als Standardkenngröße hat sich zwischen unterschiedlichen Kenngrößen der arithmetische Mittenrauwert R_a etabliert, da er einen Überblick über die Oberflächenbeschaffenheit vermittelt und sich daher auch zur Verschleißüberwachung eignet. Nach DIN EN ISO 4287 ist R_a mathematisch ausgedrückt der arithmetische Mittelwert der Beträge aller Profilwerte (Z) innerhalb der Messstrecke l (Abb. 5).

$$R_a = \frac{1}{l} \int_0^l |Z(x)| dx$$

Damit beschreibt er die mittlere Abweichung von der mittleren Linie (x-Abszisse)⁶⁰.

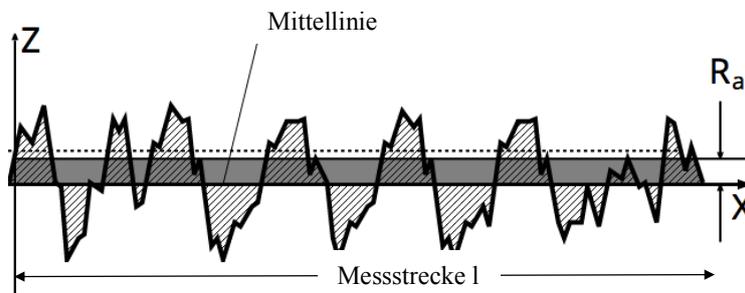


Abb. 5 - Mittenrauwert R_a ⁶¹

Zur qualitativen Messung stehen mechanische und optische Verfahren zur Verfügung. Bei den mechanischen hat sich das Tastschnittverfahren etabliert, das eine zweidimensionale Erfassung der Oberfläche ermöglicht. Dabei wird ein Tastsystem mit konstanter Geschwindigkeit von einer Vorschubeinrichtung horizontal über die Oberfläche bewegt. Die vertikale Auslenkung des Tasters wird in ein elektronisches Signal umgewandelt, aus dem das Profil und die Auswertung des Tastschnittes erstellt wird. Die Langzeiterfahrungswerte bei diesem System sind hoch und gut erforscht. Auch die Limitierungen sind bekannt. Der Tasterradius und Kegelwinkel der Tastspitze können aufgrund ihrer Geometrie einen Einfluss auf die erfassten Bereiche haben (je kleiner der Radius und der Winkel, desto kleinere, steilere Täler können erfasst werden). Außerdem kann es zur Abnutzung der Spitze beim Einsatz auf harten Materialien oder zur Kerbung der Materialoberfläche weicherer Materialien kommen⁶⁰. Optische Verfahren werden vor allem für flächenhafte Messungen eingesetzt. Zum Einsatz kommen beispielsweise Streifenlichtprojektion, Interferenzmikroskopie, optische Autofokustaste, Streulichtverfahren, Lichtschnittverfahren oder die Rasterelektrodenmikroskopie. Sie basieren auf dem Prinzip der Reflexion an Oberflächen und nutzen die Streuung an Unebenheiten, um direkt oder indirekt aus der Reflexion ein dreidimensionales Bild zu erstellen. Problematisch sind dabei vor allem dunkle, steile, oder glänzende Oberflächen, kleinste Verunreinigungen und Oberflächenstrukturen, die wie ein Beugungsgitter wirken^{60,62}.

Für Oberflächen in der Mundhöhle bedeutet eine hohe Rauigkeit eine begünstigte Anlagerungsmöglichkeit für im Speichel enthaltene Mikroorganismen, Epithelzellen, Farbstoffe und Nahrungsbestandteile, was zur Verfärbung des Werkstoffes führen kann⁶ und auch unter parodon-

talhygienischen Gesichtspunkten zu vermeiden ist. Darüber hinaus erweichen bakterielle Abfallprodukte wie Propion- und Essigsäure die Oberfläche und erleichtern damit das Eindringen von Farbstoffen⁴⁹. Oberflächliche Mikroporositäten gewährleisten Bakterien Schutz gegen Scherkräfte, sodass nicht nur die irreversible Bindung an die Oberfläche vereinfacht wird⁴⁸, sondern auch die Wirkung natürlicher Reinigungsmechanismen⁶³ sowie oraler Hygienemaßnahmen herabgesetzt wird^{64,24,50}. Gefordert wird in der Literatur eine mittlere Rauigkeit von $\leq 0,2 \mu\text{m}$ ⁶⁵, da bei dieser Oberflächenbeschaffenheit beispielsweise einer Kokke, die durchschnittlich $1 \mu\text{m}$ groß ist, keine Nischen zur Anlagerung geboten wird²². Dieser Maximalwert kann mit heutigen Kompositen problemlos erreicht werden. Werte von $0,1 \mu\text{m}$ seien erstrebenswert²⁴, da es im Laufe der Zeit durch Gebrauch und Reinigung stets zu einer additiven Aufrauung der Oberfläche kommen kann und hier ein kumulativer Effekt beobachtet wird⁵⁰. Die Rauigkeitszunahme ist dabei abhängig von der Abrasivität der Putzkörper. Abrasive Zahnpasten erzeugen Mikroläsionen in der Oberfläche und sorgen damit für eine Aufrauung der Oberfläche, die Verfärbungsmechanismen begünstigen⁶⁶. Mikro- und Hybridkomposite sind grundsätzlich gut polierbar. Je nach angewandtem Poliersystem konnten Mittelrauhwerte zwischen $0,11\text{-}0,19 \mu\text{m}$ ⁴⁹ erzielt werden. Unterschiede zwischen Mikrofüll- und Hybridkompositen werden kontrovers diskutiert. Einige Studien erkennen keine signifikanten Unterschiede²⁶, andere attestieren den mikrogefüllten Kompositen niedrigere Rauigkeit im Vergleich zu Hybridkompositen^{22,46}.

In einer in-vitro-Studie wurden neun unterschiedliche Verblendkomposite untersucht, darunter zwei Mikrofüller- und sieben Hybridfüllerkomposite. Es wurden nach gleicher Politur R_a -Werte zwischen $0,04 \mu\text{m}$ und $0,11 \mu\text{m}$ ermittelt, wobei die Mikrofüllkomposite die geringsten Werte zeigen. Das unter anderem getestete Ceramage ordnet sich mit etwa $0,08 \mu\text{m}$ (grafischer Darstellung entnommen) im Mittelfeld ein²². Eine weitere Studie, in der unter anderem Verfärbung, Abrasion und Rauigkeit unterschiedlicher Verblendkomposite untersucht wurden, zeigte, nachdem die Werte unterschiedlicher Politursysteme gemittelt wurden, folgende Reihenfolge, von niedrig nach hoch: belleGlass NG (Kerr), Cristobal+, Ceramage, dialog und dialog occlusal (Schütz-Dental), SR Adoro, Vita VM LC. Signifikant niedrigere Werte konnten für keine Stoffklasse nachgewiesen werden⁴⁹. Eine weitere Untersuchung ermittelte für den Verblendkomposit Sculpture eine bessere Polierbarkeit als für Estenia²⁶. In einer anderen Untersuchung wurde unter anderem die Rauigkeit der Komposite Gradia, VITA VM CL und Sinfony untersucht. Initial zeigte Sinfony die geringste Rauigkeit, gefolgt von GC Gradia und VITA VM CL. Eine

Lagerung in Wasser über 180 Tage mit mehreren Messintervallen ergab keine signifikante Veränderung⁴⁴. Der fehlende Einfluss der Lagerung bestätigt sich auch in einer weiteren Untersuchung, die darüber hinaus eine höhere Rauigkeit für den Hybridkomposit gegenüber einem Nano- und Mikrohybridkomposit beschreibt⁴⁶.

2.7 Abrasionsbeständigkeit

Abrasion ist ein Ausdruck für das Phänomen des Materialverlustes an der Oberfläche. Sie ist eine Art Verschleiß und wird bedingt durch Abrieb gegen andere Oberflächen wie Antagonisten (Attrition) oder durch das Zermahlen fester Nahrung (Abrasion). Sie wird dementsprechend in Zwei-Medien- und Drei-Medien-Abrasion unterteilt¹⁰. Die Zwei-Medien-Abrasion wird dabei mit Stahl-, Aluminiumoxidkeramik-, oder Zahnschmelzantagonisten simuliert, während für die Drei-Medien-Abrasion zur Simulation der Nahrung in Abhängigkeit von der gewählten Methode ein Brei aus Schalen von Reis, Hirsesamen, Mohn oder PMMA-Perlen verwendet werden. Auch eine Mischung der Stoffe ist möglich^{67,68}.

Dass es sich bei der Abrasion der Zähne im Gebiss jedoch nicht um einen isolierten Vorgang handelt, sondern auch chemische Einflüsse (sog. Erosion), wie beispielsweise die Oberflächen-erweichung durch Abfallprodukte oraler Plaque wie Propion- und Essigsäure oder säurehaltige Speisen den Substanzverlust begünstigen, sollte nicht außer Acht gelassen werden⁶⁹. Die Problematik darin besteht im Verlust der Anatomie und der vertikalen Höhe, was besonders bei okklusionstragenden und großen Restaurationen ein Ungleichgewicht des stomathognathen Systems verursacht. Deswegen stellt die Abrasion nach wie vor einen limitierenden Faktor für die Dauer des klinischen Einsatzes dar⁷⁰. Nachteilig ist auch der Verlust der Oberflächenintegrität; die Rauigkeit steigt und begünstigt die Plaqueakkumulation. Die Folgen für die Restauration sind unter anderem Verfärbungen wie oben bereits ausführlich beschrieben⁷¹.

In-vivo-Studien zur Abrasion unterschiedlicher Komposite lassen nur bedingt vergleichende Aussagen zu, da die Bedingungen sehr individuell sind. Daher handelt es sich bei den meisten Untersuchungen zur Abrasionsbeständigkeit um in-vitro-Studien, in denen Proben in Kausimulatoren oder Abrasionsmaschinen artifiziellem Gebrauch unterzogen werden, um anschließend die Beständigkeit zu evaluieren. Dabei sind die Ergebnisse jedoch abhängig vom verwendeten Kausimulator und Antagonistenmaterial, der Kaukraft, der Zyklenanzahl, und möglichen Temperaturwechseln⁷². Keine Kausimulation spiegelt jedoch die multifaktoriellen in-vivo-Bedingungen gänzlich wider⁴⁹.

Die quantitative Auswertung der Abrasion kann auf unterschiedlichen Wegen erfolgen. Ähnlich wie bereits bei der Rauigkeit beschrieben, lässt sich ein dreidimensionales Oberflächenprofil mittels Tastschnittverfahren errechnen. Außerdem kann die Abrasion mit Hilfe dreidimensionaler Scans oder mittels unterschiedlicher Mikroskopen evaluiert und mit entsprechender Software Höhen- und Volumenverlust berechnet werden^{73,74}.

Bedingt wird der Verschleiß durch die Härte des Abrasionsmediums und die Beschaffenheit des Komposits⁷⁵, da sich das härtere Material in das weichere arbeitet. Relevante Faktoren sind Größe, Menge, Form und Verteilung der Füller, die chemische Zusammensetzung, Silanisierung der Füller und die Einbindung der silanisierten Füller in die Matrix^{5,12,24,30,76}. Bei einer höheren Konversionsrate ist die Abrasionsbeständigkeit höher als bei niedriger⁵. Die Art der Füller scheint ebenfalls eine Rolle zu spielen: es wurden höhere Verschleißwerte für mikrogefüllte Komposite ermittelt als für Hybridkomposite und Amalgam²⁶.

Beim Vergleich der Abrasionsbeständigkeit verschiedener Kunststoffe mit Amalgam im gleichen Drei-Medien-Abrasionstest wurde gezeigt, dass keiner der getesteten Komposite ähnliche Werte wie Amalgam erzielt. Dennoch wurden dialog und Cristobal+, die den niedrigsten bzw. zweitniedrigsten Substanzverlust aufwiesen, als vergleichbar beschrieben. SR Adoro und VITA VM LC zeigten die signifikant höchsten Abrasionswerte²². Angeli untersuchte 2011 mit einer ähnlichen Materialzusammenstellung die Drei-Medien-Abrasion und stellte fest, dass alle untersuchten Komposite Amalgam unterlegen waren. Adoro präsentierte dabei die geringste Abrasionsbeständigkeit, gefolgt von VITA VM, Ceramage, bellGlass, Cristobal, dialog und dialog DXS (Schütz-Dental)⁴⁹. Die drei letztgenannten Materialien rangierten in einem Bereich vergleichbar mit Amalgam²².

In einer weiteren Untersuchung, in der unterschiedliche Komposite sowie Amalgam als Vergleichsgruppe einer Drei-Medien-Abrasionsuntersuchung unterzogen wurden, zeigte Estenia gefolgt von Sculpture die geringste Abrasion. Sie lag unter der des Vergleichsmediums Amalgam. Den größten Substanzverlust zeigten Signum (Mikrofüllerkomposit), gefolgt von Sinfony, Gradia, Artglass (Heraeus Kulzer), Solidex (Shofu) und Targis (Ivoclar Vivadent), die jeweils einen geringeren Abrasionswiderstand als Amalgam aufwiesen^{22,26}. Dies bringt einerseits zum Ausdruck, dass sich die Abrasionsbeständigkeit einiger Materialien auf einem guten, mit Amalgam vergleichbaren Niveau bewegt, andererseits jedoch auch, dass der Mikrofüllerkomposit den Hybridfüllern unterlegen zu sein scheint.

Generell lassen die genannten Untersuchungen einen Trend zur Verbesserung der Abrasionsbeständigkeit erkennen.

In einem Zwei-Medien-Abrasionsversuch wurden Sinfony, Gradia und VITA VM (Mikrofüllerkomposit) untersucht; letzterer wies die höchsten Abrasionswerte auf; Sinfony und Gradia zeigten geringere Werte und ähnelten sich in ihrem Verhalten. In ihrem Abrasionsverhalten glichen sie darüber hinaus natürlichem Zahnschmelz. Die Materialien wurden auch thermozyklischer Alterung unterzogen, was bei VITA VM LC zu einem signifikanten, bei Sinfony und Gradia zu einem leichten Anstieg der Werte führte. Es konnte ein gutes Abrasionsverhalten der beiden Materialien ermittelt werden⁴⁴.

Eine weitere Untersuchung, die die Abrasionsbeständigkeit natürlicher Zahnhartsubstanz gegenüber Zirkonoxid, Glaskeramik, Komposit und Zahnschmelz verglich, kam zu dem Ergebnis, dass Komposit und Zirkonoxid ähnlichen und signifikant geringeren Substanzverlust verursachten als Glaskeramik und Zahnschmelz selbst, die im gleichen Wertebereich lagen⁷⁷.

Klinisch konnte im Vergleich von Estenia- und IPS Empress Esthetic (Ivoclar Vivadent)-Restorationen nach einem Beobachtungszeitraum von drei Jahren eine statistisch ähnliche Überlebensrate gezeigt werden, allerdings auch eine erhöhte Abnahme der Oberflächenqualität bei den Kompositversorgungen⁷⁸.

Aus den vorliegenden Forschungsergebnissen lässt sich ablesen, dass die Entwicklung von Verbundkunststoffen Fortschritte macht und der momentanen Benchmark der Keramik näherkommt. Zwar zeigen sich unter den erhältlichen Kompositen deutliche Leistungsunterschiede, manche imponieren jedoch auch durch zahnschmelzähnliche Werte⁴⁴.

3 Ziel der Dissertation

Diese Dissertation verfolgt das Ziel, die Verblendkomposite verschiedener Hersteller sowohl untereinander als auch mit dem derzeitigen Maßstab, den Keramik setzt, zu vergleichen.

Null-Hypothesen:

- 1.) Es gibt keine Unterschiede in der Verfärbung, Oberflächenrauigkeit und freien Oberflächenenergie innerhalb der verschiedenen Verblendkomposite.
- 2.) Es gibt keine Unterschiede in der Verfärbung, Oberflächenrauigkeit und freien Oberflächenenergie zwischen den Verblendkompositen und der untersuchten Keramik.
- 3.) Es gibt keinen Unterschied in der Abrasionsbeständigkeit innerhalb der verschiedenen Verblendkomposite.
- 4.) Es gibt keine Unterschiede der Abrasionsbeständigkeit zwischen den Verblendkompositen und der untersuchten Keramik.

4 Material und Methoden

4.1 Materialien

Tabelle 1 zeigt die untersuchten Verblendkomposite und die Keramik mit deren LOT-Nummer, Zusammensetzung und Typisierung, jeweils nach Herstellerangaben.

Material	Lot-Nr.	Zusammensetzung	Typ
Ceramage incisal (Shofu Inc.; Kyoto, Japan)	101671	UDMA 5-15 % Zirkonsilikat (ZrSiO ₄) (ges. 73 %)	Mikro- hybrid
dialog Vario (Schütz Dental GmbH; Rosbach, Deutschland)	2017002799	UDMA, Bis-GMA 1,4-Butandiol-dimethacrylat (ges. 25 %) Feinstglas mit SiO ₂ (74 %)	Mikro- hybrid
Gradia plus HB-ED (GC Europe; Leuven, Bel- gien)	1703131	Mit 2-Methylprop-2-Enolsäure ethoxyliertes Bis- phenol-A-Dimethacrylat 10-25 %, TEGDMA 5- 10% UDMA 1-5 % Bis-GMA 1-5 % Glasfüller (300 nm), Präpolymerisate (10 µm)	Nano- hybrid
in:joy Schneide (Dentsply DeguDent GmbH; Hanau-Holfgang, Deutschland)	10055979	Dodecandiol-DMA <= 5 %, TEGDMA <= 5 % SiO ₂ , Präpolymerisate (ges. 55 %)	Mikro- hybrid
Signum composite enamel (Heraeus Kulzer GmbH; Hanau, Deutschland)	010516A	Dodecandiol-DMA TEGDMA SiO ₂ , Präpolymerisate (ges. 74%)	Mikrofül- ler
SR Nexco incisal (Ivoclar Vivadent; Schaan, Lichtenstein)	W04319	Decandiol-DMA (DDDMA) 3-10 % UDMA 1- 2,5%, Tricyclodocandimethanoldimethacrylat (TCDMMA) 1-2,5 % Copolymer 62,9 % SiO ₂ 19,8 % (ges. 82-83 %)	Mikrofül- ler
IPS e.max CAD HT A2/C 14 (Ivoclar Vivadent; Schaan, Lichtenstein)	T27841	Li ₂ Si ₂ O ₅ -Kristalle (ca 70%), Glas	Lithium- disilikat- Keramik

Tabelle 1 - Untersuchte Materialien und deren Zusammensetzung

4.2 Versuchsaufbau

4.2.1 Untersuchung der Verfärbung, freien Oberflächenenergie und Oberflächenrauigkeit

Es wurden 350 Prüfkörper hergestellt und in 35 Gruppen (zehn Prüfkörper pro Material (7) und Lagerungsmedium (5)) unterteilt. Nach der maschinellen Politur wurden sie zunächst in destilliertem Wasser für 14 Tage bei 37°C gelagert. Anschließend folgten eine manuelle Politur und eine Reinigung. Die Messwerte Transmission, freie Oberflächenenergie und Oberflächenrauigkeit wurden als Basiswerte (baseline/Initialwerte) erhoben (stets in dieser Reihenfolge). Es folgte die 14-tägige Einlagerung jeder Gruppe in einer der Flüssigkeiten Kaffee, Rotwein, Karottensaft, Rote-Bete-Saft oder Curry-Lösung. Im Anschluss wurden die drei Messungen der Transmission, freien Oberflächenenergie und Oberflächenrauigkeit erneut durchgeführt (Messung M1). Dann wurden die Prüfkörper erneut manuell poliert und gereinigt den drei Messungen Transmission, freie Oberflächenenergie und Oberflächenrauigkeit erneut unterzogen (Messung M2). Die so erhobenen Daten wurden statistisch ausgewertet. IPS e.max CAD fungierte dabei als Kontrollgruppe. Abbildung 6 zeigt eine Übersicht des Studiendesigns.

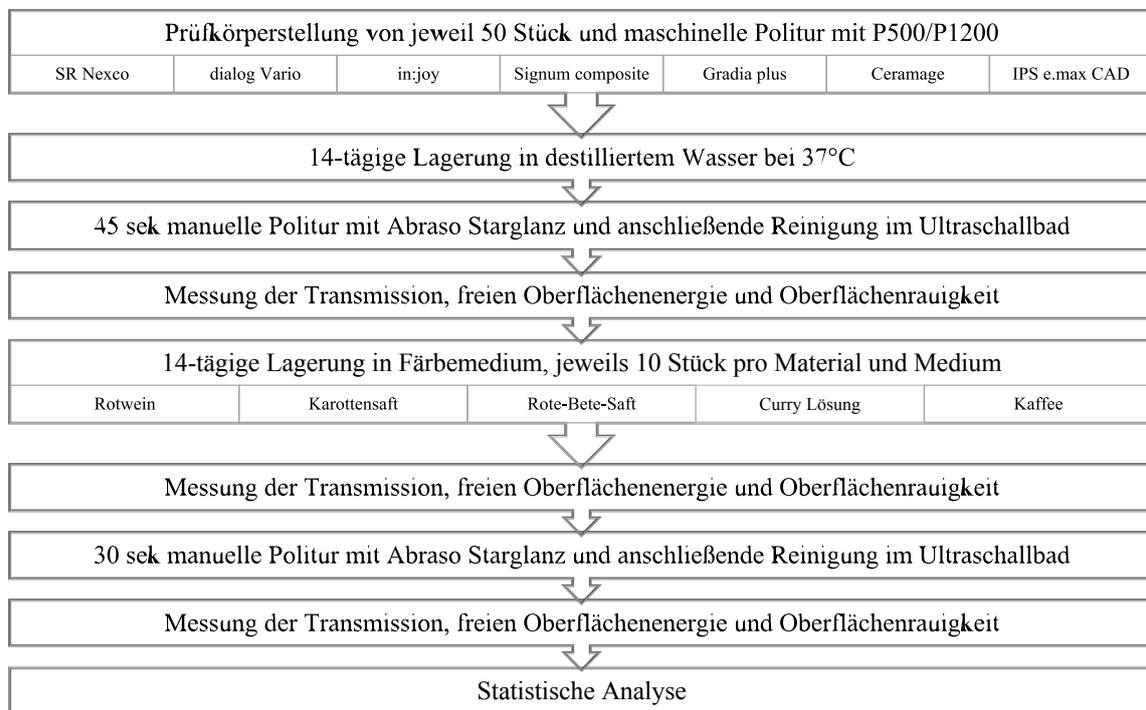


Abb. 6 - Übersicht des Studiendesigns zur Untersuchung der Transmission, freien Oberflächenenergie und Oberflächenrauigkeit.

Die in Tabelle 2 gelisteten Flüssigkeiten wurden als Färbelösungen zur Einlagerung der Prüfkörper verwendet.

Lagerungs- medium	Herstellung/Hersteller
Karottensaft	„Karotten Saft mit Honig“ (Gut und Günstig, EDEKA Zentrale AG&Co.KG, Hamburg)
Rote-Bete-Saft	Saft von „ja! Rote Bete in Scheiben“ (J.&W Stollenwerk ohG, Merzenich/Düren)
Rotwein	„Dornfelder Qualitätswein, Pfalz 2016“ (Rheinberg Kellerei GmbH, Bingen am Rhein)
Kaffee	„DER ERLESENE“, 100% Arabica (Schirmer Kaffee GmbH, Dortmund), 8,5g/100 ml, aufgebriht mit handelsüblicher Filtermaschine und destilliertem Wasser
Curry-Lösung	„Curry“ (Ostmann Gewürze GmbH, Dissen a.T.W.), 40g/1000 ml destilliertem Wasser für 10 min gekocht und durch Teefilter abfiltriert

Tabelle 2 - Verwendete Färbelösungen

4.2.2 Untersuchung der Abrasionsbeständigkeit des Materials und des Antagonisten

Aus jedem der sieben untersuchten Materialien wurden 16 Prüfkörper hergestellt (N=120). Diese wurden randomisiert in einem Kausimulator 480.000 Kauzyklen bei gleichzeitiger thermozyklischen Wechselbelastung, entsprechend einer in situ-Belastungsperiode von zwei Jahren, der Kausimulation unterzogen. Als Antagonist dienten dafür entsprechend präparierte extrahierte menschliche Molaren aus verschiedenen Zahnarztpraxen im Raum München.

Die untersuchten Größen „Höhenverlust“ und „Volumenverlust“ des Materials sowie des Schmelzantagonisten wurden durch den Vergleich einer dreidimensionalen Vorher- und Nachheraufnahme mit Hilfe einer 3D-Inspektions- und Netzbearbeitungssoftware ermittelt.

Vor der Kausimulation wurde darüber hinaus profilometrisch die Rauigkeit der Prüfkörper ermittelt.

4.3 Prüfkörperherstellung

4.3.1 Prüfkörperherstellung für die Untersuchung der Verfärbung, freien Oberflächenenergie und Oberflächenrauigkeit

Zur Herstellung der Kompositprüfkörper wurde zunächst ein Prototyp aus Komposit entworfen, der der Form der späteren Prüfkörper glich. Mit Hilfe des Prototyps wurden Silikonformen aus Zwei-Komponenten-Knetsilikon (picodent twinduo extrahart, picodent, Wipperfürth, Deutschland) hergestellt (Abb. 7, 8).

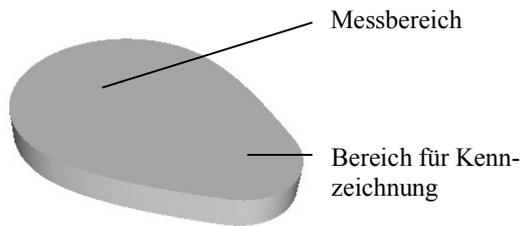


Abb. 7 - 3D-Darstellung des Kompositprüfkörpers

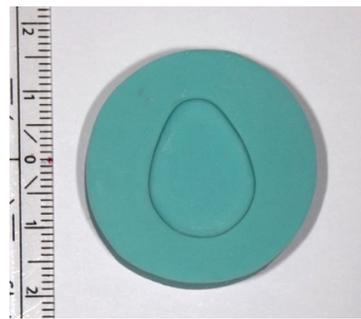


Abb. 8 - Silikonform für Kompositprüfkörper, Skala in cm

Nach Befüllen der Form (Abb. 9) wurde der Komposit mittels des breiten Endes eines Zementspatels leicht in die Randbereiche gedrückt und bündig verstrichen. Anschließend wurde der Komposit gemäß Herstellerangaben polymerisiert (Tabelle 3). Durch leichte manuelle Deformation des Silikons konnte der Prüfkörper aus der Form ausgebettet werden (Abb. 10).



Abb. 9 - Befüllen der Silikonform



Abb. 10 - Ausgebetteter Prüfkörper

Für die Polymerisation der Kompositprüfkörper bzw. Kristallisation der Keramikprüfkörper wurden die in Tabelle 3 gelisteten Geräte und Zeiten bzw. Programme verwendet.

Material	Gerät	Dauer/Programm
Ceramage	Solidilite V (Shofu)	3 min
Dialog Vario	HiLite power (Heraeus Kulzer)	3 min
Gradia plus	Labolight DUO (GC EUROPE)	3 min
in:joy	ECLIPSE junior (Dentsply Sirona)	Programm „final“
Signum composite	HiLite power (Heraeus Kulzer)	3 min
SR Nexco	Solidilite V (Shofu)	5 min
IPS e.max CAD	Programat EP 5000 (Ivoclar Vivadent)	Programm „G9 IPS e.max CAD Crystal/Glaze HT/LT“

Tabelle 3 - Geräte und Polymerisationszeiten der Verblendkomposite bzw. Kristallisationsprogramm der Lithiumdisilikatkeramik.

Zur Herstellung der Keramikprüfkörper wurden zunächst mit einer Trennmaschine (Secotom 50, Struers, Ballerup, Dänemark) unter Verwendung einer Diamanttrennscheibe (Diamond Cut-off Wheel M1D13, Struers) Scheiben mit einer Stärke von 1,8 mm unter ständiger Wasserkühlung von Keramikrohlingen (IPS e.max CAD) geschnitten. Etwaige Überstände wurden mit einem Diamanten roter Körnung (Komet Dental, Gebr. Brassler GmbH & Co. KG, Lemgo, Deutschland) vorsichtig bei niedriger Drehzahl mit einem zahntechnischen Handstück entfernt. Der Kristallisationsbrand erfolgte in einem Programat EP 5000 Pressofen mit dem dafür vorgesehenen Brennprogramm „G9 IPS e.max CAD Crystal/Glaze HT/LT“.

Bedingt durch die Formvorgabe der Keramikblöcke fand ein Wechsel der Prüfkörpergeometrie bei den Keramikprüfkörpern statt. Dem Querschnitt der Rohlingblöcke entsprechend ähnelten die Prüfkörper Rechtecken mit abgerundeten Ecken.

Im weiteren Vorgehen wurde keine Unterscheidung zwischen den Materialien vorgenommen. Es folgte die beidseitige maschinelle Politur durch eine Politurmaschine (Abramin, Struers) mit der Schleiffolie SiC Foil P#500 (30 µm Körnung) und P#1200 (15 µm Körnung) (beide Struers) unter konstanter Wasserkühlung. Dazu wurden stets zwölf Prüfkörper mittels Klebewachs (Supradent-Wachs, Chemisches Dental-Labor Oppermann-Schwendler, Bonn, Deutschland) auf der für die Maschine vorgesehenen Politurplatte fixiert (Abb. 11) und die Politurplatte in der Poliermaschine platziert. Bei 150 Umdrehungen pro Minute und einem Druck von rund 50 N wurden die Prüfkörper unter konstanter Wasserkühlung zunächst einseitig mit den genannten Körnungen (von grob nach fein) bearbeitet, dann von der Politurplatte gelöst, andererseits erneut fixiert und auf eine Stärke von $1,4 \text{ mm} \pm 0,01 \text{ mm}$ poliert. Die Kontrolle der Prüfkörperstärke wurde mit einer digitalen Bügelmessschraube mit einer Sensibilität von 0,001 mm durchgeführt (IP65, 0-25 mm, Mitutoyo, Aurora, Illinois). Die Prüfkörper wurden anschließend mit einem Rosenbohrer (Größe 035, Komet) an der dafür vorgesehenen Stelle beschriftet (auf die Beschriftung wird im weiteren Verlauf genauer eingegangen).

Etwaige Wachsreste von der Fixation wurden mit dem Zementspatel entfernt. Zur Lagerung in destilliertem Wasser wurden aus handelsüblichem Styropor Schwimmer gefertigt und mit den Prüfkörpern bestückt, sodass ganzflächiger Kontakt zur Flüssigkeit bestand (Abb. 12). Anschließend wurden die Prüfkörper bei 37°C (Heracell 150, ThermoFisher, Waltham, Massachusetts, USA) in destilliertem Wasser gelagert. Es folgte eine beidseitige manuelle Politur am zahntechnischen Handstück mit einer Bürste (Rundbürste Ziegenhaar, Komet) und Politurpaste (Abraso Starglanz, Bredent GmbH&Co.KG, Senden) bei 4000 Umdrehungen pro Minute unter

geringem Anpressdruck für 45 sek pro Seite mit anschließendem Finishing mit einem Mikrofaser Schwabbel (Komet) bei 4000 Umdrehungen pro Minute (Abb. 13, 14). Die Prüfkörper wurden anschließend im Ultraschallbad für zehn Minuten in destilliertem Wasser gereinigt und mit handelsüblichen Kosmetiktüchern getrocknet.

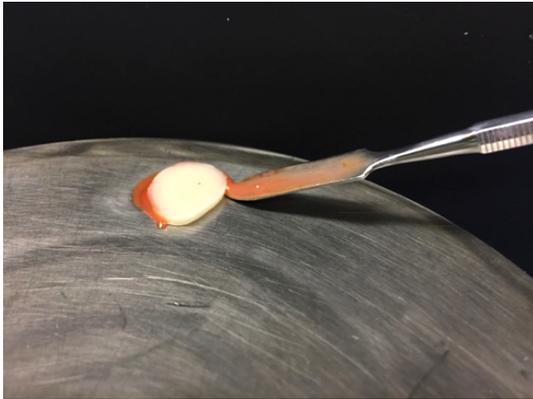


Abb. 11 - Fixation eines Prüfkörpers auf der Politurplatte

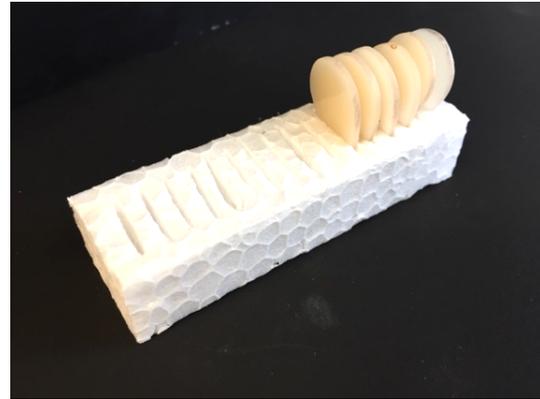


Abb. 12 - Prüfkörper im Styroporschwimmer



Abb. 13 - Pastenpolitur



Abb. 14 - Prüfkörper nach dem Finishing

Im Anschluss erfolgte die Datenerhebung der Initialwerte (die Messungen werden später im Einzelnen beschrieben). Die Werte dieser Initialmessung tragen im weiteren Verlauf die Bezeichnung „baseline“.

Danach wurden die Prüfkörper erneut in den Schwimmern platziert und in der jeweiligen zu testenden Flüssigkeit (Tabelle 2, Karottensaft, Rote-Bete-Saft, Rotwein, Kaffee, Curry-Lösung) in einem verschließbaren Glasgefäß bei 37°C gelagert. Der Schwimmer verhinderte dabei, dass sich sedimentierende Teilchen aus der Lösung auf der Prüfkörperoberfläche ablagerten. Nach 14 Tagen erfolgte die erneute Messung. Dazu wurde der Schwimmer mitsamt Prüfkörpern aus der Flüssigkeit entnommen, darauf befindliche Flüssigkeit konnte abtropfen. Nach

Trocknung an der Luft wurden die Prüfkörper aus dem Schwimmer entfernt und die Messungen durchgeführt. Die Werte tragen die Bezeichnung „M1“.

Anschließend wurden die Prüfkörper auf bereits dargelegte Art und Weise, nun jedoch für 30 sek pro Seite, einer erneuten manuellen Politur unterzogen, im Ultraschallbad für zehn Minuten gereinigt und mit Kosmetiktüchern getrocknet. Die Parameter wurden erneut gemessen. Die Messergebnisse der erneut polierten Prüfkörper wurden mit „M2“ bezeichnet.

Die Beschriftung der Prüfkörper und Archivierungsmedien wurde nach folgender Systematik durchgeführt: Ein Großbuchstabe an erster Stelle definierte die Färbelösung (M=Karottensaft, B=Rote-Bete-Saft, R=Rotwein, K=Kaffee, C=Curry-Lösung). Eine Zahl zwischen 1-10 zählt für die Prüfkörpernummer. Buchstabenkürzel hinter der Zahl bzw. auf der anderen Seite der Prüfkörper stehen für das Material.

Abkürzung	Name des Materials
ce	Ceramage
di	dialog Vario
gr	Gradia plus
in	In:joy
sig	Signum composite
ne	SR Nexco
emax	IPS e.max CAD

Tabelle 4 - Abkürzungen der Materialien

Abkürzung	Färbelösung
B	Rote-Bete-Saft
C	Curry-Lösung
K	Kaffee
M	Karottensaft
R	Rotwein

Tabelle 5 - Abkürzungen der Färbelösungen

4.3.2 Prüfkörperherstellung für die Untersuchung der Abrasionsbeständigkeit der Materialien und der Antagonisten

Zur Herstellung der Kompositprüfkörper wurde zunächst ein quadratischer Prototyp aus Komposit entworfen, der in der Form den späteren Prüfkörpern glich. Dieser orientierte sich an den Maßen der für den Einsatz im Kausimulator benötigten Halterungen. Es wurde Kontakt der Ecken zur Wand der Halterung angestrebt, um die eingebetteten Prüfkörper für die Belastung im Kausimulator zusätzlich zu stabilisieren. Mit Hilfe des Prototyps wurden, analog zum ersten Versuch, Silikonformen aus Zwei-Komponenten-Knetsilikon (picodent twinduo extrahart) hergestellt.

Nach Befüllen der Form wurde der Komposit mittels des breiten Endes eines Zementspatels leicht in die Randbereiche gedrückt und bündig verstrichen. Anschließend wurde der Komposit

gemäß Herstellerangaben polymerisiert (Tabelle 3). Durch leichte manuelle Deformation des Silikons konnte der Prüfkörper aus der Form ausgebettet werden.

Es folgte die einseitige maschinelle Politur durch eine Politurmaschine (Abramin) mit der Schleifolie SiC Foil P#500 (30 µm Körnung), P#1200 (15 µm Körnung), P#2000 (10 µm Körnung) und P#4000 (5 µm Körnung) (alle Stuers) unter konstanter Wasserkühlung. Dazu wurden stets zwölf Prüfkörper mittels Klebewachs (Supradent-Wachs) auf der für die Maschine vorgesehenen Politurplatte fixiert (Abb. 11) und die Politurplatte in der Poliermaschine platziert. Bei 150 Umdrehungen pro Minute und einem Druck von rund 50 N wurden die Prüfkörper unter konstanter Wasserkühlung von grob nach fein poliert. Das Politurergebnis, ein homogener Oberflächenglanz, wurde visuell kontrolliert.

Zur Herstellung der Keramikprüfkörper wurden zunächst mit einer Trennmaschine (Secotom 50) unter Verwendung einer Diamanttrennscheibe (Diamond Cut-off Wheel MID13, Struers) Scheiben mit einer Schichtstärke von 2,0 mm unter konstanter Wasserkühlung von einem Keramikrohling (IPS e.max CAD) geschnitten. Dann wurden sie manuell mit einer für diesen Einsatzbereich vorgesehenen Diamantscheibe mit dem zahntechnischen Handstück bei niedriger Drehzahl und unter Vermeidung von Hitzeentwicklung durch manuelles Wasserkühlen in die entsprechenden Maße (siehe oben) geschnitten. Es folgte eine Reinigung im Ultraschallbad für 5 min. Anschließend wurden die Prüfkörper in einem Kristallisationsbrand kristallisiert und einseitig manuell mit IPS e.max Ceram Glaze Powder/ Glaze and Stain Liquid (Ivoclar Vivadent) glasiert und einem Glasurbrand (Tabelle 3) unterzogen.

Es folgte die Vorbereitung der Prüfkörper für den Kausimulator. Die Prüfkörper wurden zunächst einzeln mit wenig lichthärtendem Kunststoff (Palatray XL, Heraeus) in der Halterung fixiert. Dazu wurde auf die Rückseite der Prüfkörper etwas Kunststoff gegeben, die Halterung über den Prüfkörper gestülpt und im Anschluss ausgehärtet. Der entstandene Hohlraum wurde dann mit Einbettharz (Scandiquick, SCAN-DIA, Hagen, Deutschland) aufgefüllt. Nach Erhärtung des Harzes folgte die Beschriftung der Prüfkörper und eine mindestens sechswöchige Lagerung in destilliertem Wasser bei 37°C im Brutschrank (Abb.15).

Für die Kompositprüfkörper wurde außerdem die Oberflächenrauigkeit R_a mit der bereits erläuterten Methodik ermittelt. Es erfolgte eine einmalige Messung. Ein Mittelwert wurde nicht bestimmt.



Abb. 15 - Eingebetteter Prüfkörper, hier beispielhaft dialog Vario

Für die Schmelzantagonisten wurden unversehrte extrahierte Molaren (optisch gesunde Zähne) aus verschiedenen Zahnarztpraxen Münchens gesammelt. Nach der Extraktion wurden die Zähne für sieben Tage bei Raumtemperatur in Chloramin T (0,5%ig, Sigma-Aldrich Laborchemikalien, Seelze, Deutschland) gelagert und dann in destilliertes Wasser überführt und bei 4°C gelagert. Es wurde nur die mesiobukkale Höckerspitze genutzt. Diese wurde mit einer Diamant-trennscheibe am zahntechnischen Handstück so vom restlichen Zahn getrennt, dass der Höcker und eine ca. 4 mm starke Zahnhartsubstanzbasis darunter entstanden. Die Basis wurde derart gestaltet, dass sie etwa einen 90° Winkel zur Höckerachse bildete (Abb.16) und mit waagerechten Retentionsrillen versehen war, um die anschließende Fixierung mit Amalgam (Dispersalloy, Dentsply Sirona, York, Pennsylvania, USA) in den dafür vorgesehenen Halterungen (Abb. 17) zu gewährleisten. Das Amalgam wurde um den Schmelzhöcker in die Halterung eingebracht, kondensiert und brüniert. Nach Erhärten des Amalgams wurde der Höckerspitze auf einer Ständerbohrmaschine mit einem diamantierten Profilbohrer (40 µm, Komet) unter ständiger Wasserbenetzung und geringem Anpressdruck die Form einer liegenden Halbkugel verliehen (Abb. 17). Dadurch wurden standardisierte Ausgangsbedingungen gewährleistet. Die auf diese Weise vorbereitete Schmelzantagonisten wurden in destilliertem Wasser bei 4°C gelagert.



Abb. 16 - Vorbereiteter Schmelzhöcker



Abb. 17 - Fertig vorbereiteter Schmelzantagonist

4.4 Untersuchung der Verfärbung

Mit dem Spektrophotometer LAMBDA 35 UV/VIS Spectrometer (PerkinElmer, Waltham, Massachusetts, USA) und der Software PerkinElmer UV WinLab wurde zunächst die Transmission der Prüfkörper bestimmt. Dazu wurden die Prüfkörper einzeln nacheinander in der dafür angefertigten Halterung platziert (Abb. 18), um Rotation zu vermeiden und reproduzierbare Ergebnisse zu gewährleisten.

Die Messung wurde im Spektrum des sichtbaren Lichts zwischen 400 nm und 700 nm durchgeführt.



Abb. 18 - Die Prüfkörperform ermöglichte eine positionsgetreue Reposition für jede Messung in der Halterung.

Zur Bestimmung der Delta E-Werte wurde im Anschluss die Software Color Application Software V1.00 (PerkinElmer) verwendet. Dazu wurden für jeden Prüfkörper die Transmissionswerte der baseline-Messreihe jeweils gegen die Messung nach Verfärbung (M1) und nach erneuter Politur (M2) gerechnet. Es wurden die Werte Delta E, Delta a, Delta b, Delta L zwischen verfärbtem bzw. erneut poliertem Zustand und der baseline ermittelt.

Mit Hilfe dieser Werte konnte durch die Formel

$$\Delta E_{M1M2} = \sqrt{(L_{M1} - L_{M2})^2 + (a_{M1} - a_{M2})^2 + (b_{M1} - b_{M2})^2}$$

auch der ΔE_{M1M2} -Wert (Farbabstand zwischen dem Färbezustand „verfärbt“ (M1) und „erneut poliert“ (M2)) berechnet werden.

4.5 Untersuchung der freien Oberflächenenergie

Mittels Kontaktwinkelmessung wurde die freie Oberflächenenergie ermittelt. Die Benetzungsuntersuchung wurde mit dem DSA25 und die Tropfenkonturanalyse mit der dazugehörigen Software DAS-4 (beide Krüss GmbH, Hamburg, Deutschland) durchgeführt. Die Kontaktwinkel wurden zwischen Wasser (als polare Flüssigkeit) bzw. Diiodomethan (als apolare Flüssigkeit) und der Prüfkörperoberfläche bestimmt.

Die Messung wurde mit jeweils einem Tropfen pro Flüssigkeit durchgeführt. Dabei wurde vermieden, für Diiodomethan einen Wert aus dem Bereich der Oberfläche zu ermitteln, der zuvor durch den Wassertropfen etwaige Manipulationen erlitten hatte.

Der Wert ‚total SFE‘ definiert die freie Oberflächenenergie in mN/m und wurde für die Auswertung herangezogen. Die Differenzwerte zwischen den jeweiligen Farbzuständen wurden durch folgende Subtraktionen der Werte ermittelt:

$$\Delta SFE_{M1base} = SFE_{M1} - SFE_{base}$$

$$\Delta SFE_{M2base} = SFE_{M2} - SFE_{base}$$

$$\Delta SFE_{M1M2} = SFE_{M1} - SFE_{M2}$$

4.6 Untersuchung der Oberflächenrauigkeit

Die Rauigkeit der Oberfläche wurde mittels taktile Profilmetrie ermittelt. Hierzu wurde das Profilmeter MarSurf M400 mit dem Vorschubgerät MarSurf SD 26 (beide Mahr, Göttingen, Deutschland) (Abb.19) genutzt. Dabei handelt es sich um ein stationäres Freitastsystem mit Gaußfilter gemäß ISO 16610-21 und Filter gemäß ISO 13565 mit einer Tastspitze mit Tastradius 2 µm und Kegelwinkel 90°. Nach der Selbstkalibrierung durch das Gerät wurden die Prüfkörper einzeln und nacheinander unter der Messnadel platziert, sodass sie ungefähr mittig den Prüfkörper abtastete. Dieser Vorgang wurde pro Prüfkörper dreimal in Längsrichtung und dreimal in Querrichtung durchgeführt, wobei der Prüfkörper zwischen jeder Messung um etwa ein bis zwei Millimeter verschoben wurde, um keine Messstrecke doppelt abzutasten. Der Mittelwert aus den sechs Messungen wurde für die Auswertung herangezogen.



Abb. 19 - Rauigkeitsmessung mit Hilfe des Profilometers MarSurf M400

4.7 Untersuchung der Abrasionsbeständigkeit

4.7.1 Bildgebung

Um den Höhen- und Volumenverlust der Antagonisten zu bestimmen, wurden Aufnahmen vor und nach der Kausimulation angefertigt und überlagert. Mit Hilfe eines Laserscanners (LASERSCANNER LAS-20, SD Mechatronik, Feldkirchen-Westerham, Deutschland) wurde eine Punktwolke entsprechend der Oberfläche generiert. Dazu wurde zuvor ein großzügiger Bereich um die Schmelzkuppe für den Scan festgelegt, eine Auflösung von $0,02\ \mu\text{m}$ gewählt und für die Scannersensoren die Einstellung „natural teeth“ gewählt. Als „Z-level“ wurde die Kuppenspitze gewählt.

Nacheinander wurden die Antagonisten einzeln und in einer dafür angefertigten Positionierungshilfe platziert, um eine Reproduzierbarkeit der Position zu gewährleisten, die die spätere Überlagerung vereinfachte. Auf diese Weise wurde vor und nach der Kausimulation nur mit den Antagonisten verfahren.

Das Vorgehen für die Prüfkörper war analog. Der Scanbereich umfasste großzügig die Abrasionmulde, für die Scannersensoren wurde die Einstellung „plastic glossy“ gewählt.

Für die Prüfkörper bestand jedoch keine Notwendigkeit eines Scans vor der Kausimulation, da das verwendete Inspektionsprogramm die glatte Oberfläche auch nach der Kausimulation als solche identifizieren konnte (detaillierte Beschreibung im weiteren Verlauf). Damit war es möglich, den Materialverlust gegen das Niveau der vorher bestehenden Glattfläche zu berechnen.

4.7.2 Kausimulation

In 14 Serien wurden die 112 Prüfkörper aus sieben Materialien mit entsprechenden Halterungen in den Kammern des Kausimulators Chewing Simulator CS-4 (SD Mechatronik) platziert, so dass die Schmelzkuppen etwa mittig das Testmaterial berührten. Für die Verschleißsimulation wurde eine Zyklenzahl von 480.000 Zyklen, was einer in situ-Belastung von etwa zwei Jahren entspricht. Gleichzeitig wurden die Prüfkörper alle 60 sek einem Thermolastwechsel von 5°C und 55°C unterzogen (Abb. 20).

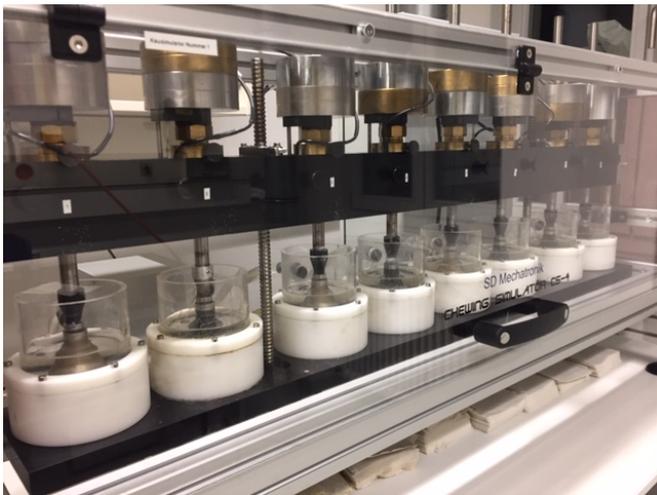


Abb. 20 - Kausimulator CS-4

Folgenden Einstellungen wurden gewählt:

	Parameter	Einstellung
Z-Achse	Aufwärtshub	2,0 mm; 60,0 mm/s
	Abwärtshub	1,0 mm; 20,0 mm/s
X-Achse	Horizontalbewegung	0,7 mm; 20,0 mm/s
	Bewegungsrichtung	Vor- und Zurück
Bewegung	Zyklenzahl	480.000
	Frequenz	1,2 Hz
	Belastung	50 N
	Zeitoptimierte Bewegung	Nein
	Minimaler Impuls beim Auftreffen	Ja
	Intervallbetrieb	Nein
Thermolast	Temperatur	5°C; 55°C
	Dauer	60 sek

Tabelle 6 - Einstellungen für die Kausimulation

4.7.3 Berechnung des Materialverlustes

Zur Auswertung der Abrasion wurde die 3D-Inspektions- und Netzbearbeitungssoftware GOM Inspect 2016 (GOM, Braunschweig, Deutschland) herangezogen. Zunächst wurde die Punktwolke importiert. Dann wurden die Randbereiche, die offensichtlich außerhalb der Z-Ebene lagen, und gegebenenfalls Punkte, die aufgrund offensichtlichen Bildrauschens ebenfalls deutlich von der Z-Ebene abwichen, entfernt (Abb. 21). Anschließend wurde die Punktwolke zu einem Netz polygonisiert. Dabei wurde der Vorschlag des Programmes zur Kantenlänge von 0,05 mm angenommen und etwaige Löcher automatisch formgetreu entsprechend des Software-Vorschlags gefüllt. Die Scans der Antagonisten vor Kausimulation wurden weiter in ein CAD-Element formatiert, da der Flächen- und Volumenvergleich nur auf einem CAD-Element stattfinden kann.

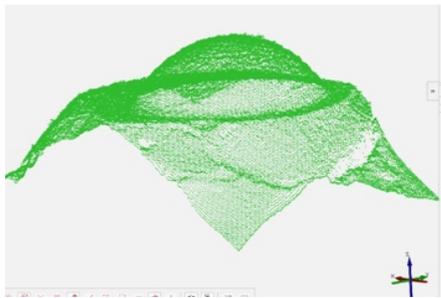


Abb. 21 –Punktwolke eines Schmelzantagonisten im Programm GOM vor der Abrasionssimulation

Für den Vergleich der Antagonisten wurden sowohl das Netz des abradierten, als auch das CAD-Element des nichtabradierten Antagonisten angezeigt und über zwei Ausrichtungsschritte (Vorausrichtung via initiale Ausrichtung, endgültige Ausrichtung via best-fit-Funktion der nichtabradierten, auf beiden Elementen vorhandenen Bereiche) übereinandergelegt. Die Abrasionsparameter wurde durch den Flächenvergleich auf dem CAD-Element in Richtung der Z-Ebene berechnet (Abb. 22).

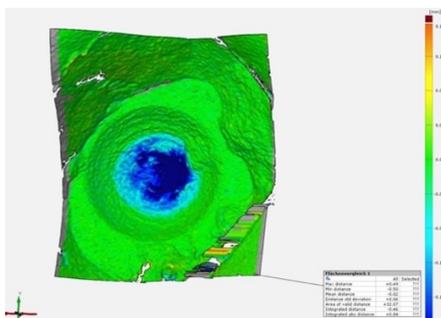


Abb. 22 - Flächenvergleich eines Antagonisten. Der Materialverlust ist in Blautönen eingefärbt.

Für die Prüfkörper wurde ein anderes Verfahren gewählt. Unter Ausschluss der Abrasionsmulde wurde eine Fitting-Ebene auf Basis der nichtabradierten Kompositbereiche konstruiert, sodass die konstruierte Fläche mit der intakten Oberfläche vor der Kausimulation gleichzusetzen war. Diese Fläche wurde in ein CAD-Element umgewandelt.

Das weitere Vorgehen wurde oben bereits beschrieben.

Die Höhendifferenz konnte der Ergebnisübersicht des CAD-Vergleiches entnommen werden. Für den Volumenverlust wurde der negative Anteil des Wertes „integrated distance“ mit folgender Formel berechnet:

$$\frac{\text{Integrated abs distance} - \text{Integrated distance}}{2} = |\text{negative values}|^{79}$$

4.7.4 REM-Aufnahmen

Die rasterelektrodenmikroskopischen Topografieaufnahmen wurden mit dem Rasterelektrodenmikroskop SEM, LEO 1430 (Zeiss, Oberkochen, Germany) angefertigt. Dafür wurden die Prüfkörper mit einer Gold/Palladium Sputter-Beschichtung versehen (SCD 005, Bal-Tec, Balzers, Liechtenstein). Ein Arbeitsabstand von 14-16 mm und eine Beschleunigungsspannung von 5,00 kV wurden genutzt.

4.8 Statistische Auswertung

Die jeweiligen Messwerte wurden zunächst im Programm Microsoft Excel (Microsoft Excel für Mac Version 16.16.2, Redmond, Washington, USA) tabellarisch festgehalten und anschließend mit dem Statistikprogramm SPSS (IBM SPSS Statistics Version 25, Armonk, New York, USA) ausgewertet. Grundsätzlich wurde ein p-Wert von $p \leq 0,05$ als statistisch signifikant festgelegt.

Der Kolmogorov-Smirnov-Test wurde durchgeführt, um die Daten auf Normalverteilung zu prüfen. Im Anschluss wurde die deskriptive Statistik erstellt, um Minima, Mediane und Maxima zu ermitteln. Mit Hilfe des Mann-Whitney-U-Tests wurden die unterschiedlichen Variablen Material, Färbemedium und Färbezustand bzw. Material jeweils miteinander verglichen, um deren Einfluss zu ermitteln.

Mittels Spearman Rho-Test wurden die Daten des Abrasionsversuches zusätzlich auf Korrelationen untersucht.

5 Ergebnisse

5.1 Deskriptive Statistik der Verfärbungsrate, freien Oberflächenenergie und Rauigkeit

Angegeben sind die Oberflächenrauigkeit R_a in μm , die freie Oberflächenenergie (FOE) in mN/m und die Verfärbung

Da insgesamt nur eine Gruppe („erneut poliert“) eine Normalverteilung (95% der p -Werte $\geq 0,05$) verzeichnete, wurde ein nicht-parametrisches Vorgehen für die Auswertung gewählt.

Deskriptive Statistik mit Minimum / Median / Maximum der in Curry-Lösung gelagerte Gruppen*

Material	Ceramage	dialog Vario	Gradia plus	in:joy	Signum compo-site	SR Nexco	IPS e.max CAD	
initial	Ra	0,069 / 0,076 / 0,139 ^{Cb}	0,061 / 0,078 / 0,132 ^{Cb}	0,138 / 0,152 / 0,177 ^{Db}	0,055 / 0,067 / 0,082 ^{Bb}	0,041 / 0,068 / 0,075 ^{BcDd}	0,070 / 0,077 / 0,091 ^{Ce}	0,045 / 0,053 / 0,061 ^{Ab}
	FOE	35,3 / 39,2 / 50,0 ^{Ac}	33,6 / 44,7 / 49,9 ^{ABcDd}	39,8 / 44,6 / 48,4 ^{BcEe}	43,9 / 47,3 / 49,5 ^{Ce}	39,8 / 41,6 / 45,8 ^{BcEe}	43,0 / 45,7 / 53,5 ^{Ce}	46,5 / 50,2 / 52,6 ^{Dd}
verfärbt	Ra	0,073 / 0,083 / 0,137 ^{CdDe}	0,069 / 0,091 / 0,207 ^{Db}	0,107 / 0,151 / 0,175 ^{Ed}	0,062 / 0,076 / 0,088 ^{BcEe}	0,055 / 0,075 / 0,095 ^{BcDd}	0,075 / 0,092 / 0,127 ^{Dd}	0,046 / 0,053 / 0,057 ^{Ab}
	FOE	65,3 / 71,2 / 72,6 ^{BcDd}	64,6 / 72,5 / 77,1 ^{BcEe}	70,7 / 71,9 / 73,2 ^{Cf}	69,0 / 70,9 / 72,2 ^{Cf}	40,9 / 62,1 / 73,0 ^{Ad}	67,6 / 69,6 / 71,7 ^{ABcf}	69,1 / 71,0 / 72,9 ^{BcFf}
erneut po- liert	Ra	0,072 / 0,080 / 0,108 ^{BcDe}	0,071 / 0,088 / 0,098 ^{Db}	0,134 / 0,149 / 0,157 ^{Ed}	0,062 / 0,074 / 0,084 ^{CcEe}	0,054 / 0,067 / 0,083 ^{BcEe}	0,075 / 0,090 / 0,094 ^{Dd}	0,048 / 0,052 / 0,056 ^{Ab}
	FOE	33,8 / 37,7 / 42,9 ^{BcEe}	33,3 / 36,1 / 38,5 ^{ABcEe}	32,0 / 34,2 / 37,2 ^{Ac}	36,8 / 40,2 / 45,7 ^{DdEd}	36,3 / 42,3 / 45,6 ^{EcEe}	35,2 / 39,5 / 43,4 ^{CdDd}	51,5 / 54,4 / 58,6 ^{Fe}
Ainitial - verfärbt	Ra	-0,002 / 0,009 / 0,054 ^{Da}	-0,006 / 0,013 / 0,075 ^{Ba}	-0,034 / -0,003 / 0,029 ^{ABa}	-0,003 / 0,010 / 0,020 ^{Ba}	0,000 / 0,012 / 0,025 ^{Bb}	-0,006 / 0,011 / 0,049 ^{BaBb}	-0,007 / -0,001 / 0,010 ^{Aa}
	FOE	21,6 / 32,1 / 37,3 ^{EB}	18,7 / 27,6 / 43,5 ^{DEB}	22,4 / 27,5 / 32,8 ^{CDDEB}	20,0 / 24,2 / 28,2 ^{Bb}	0,4 / 16,4 / 31,5 ^{ABcDdB}	15,8 / 23,7 / 27,3 ^{BcBb}	17,2 / 20,3 / 25,3 ^{Ac}
Ainitial - erneut po- liert	AE _{ab}	25,50 / 36,73 / 41,87 ^{Fe}	9,11 / 22,10 / 25,70 ^{Db}	27,88 / 31,15 / 36,40 ^{Ed}	10,89 / 14,91 / 20,65 ^{Bb}	8,91 / 11,01 / 32,48 ^{BcDdB}	13,55 / 18,55 / 24,03 ^{Cb}	0,70 / 0,86 / 1,14 ^{Aa}
	Ra	-0,031 / 0,002 / 0,020 ^{ABcCa}	-0,047 / 0,010 / 0,026 ^{Ca}	-0,020 / -0,009 / 0,016 ^{Aa}	-0,008 / 0,009 / 0,015 ^{BcCa}	-0,010 / 0,003 / 0,021 ^{ABcCa}	0,000 / 0,008 / 0,019 ^{Cb}	-0,010 / -0,002 / 0,010 ^{Aa}
Ainitial - erneut po- liert	FOE	-12,3 / 0,1 / 2,7 ^{Ca}	-11,9 / -8,4 / -0,3 ^{ABa}	-15,3 / -10,0 / -4,6 ^{Aa}	-9,7 / -6,6 / -2,9 ^{Ba}	-4,7 / -1,7 / 5,8 ^{Ca}	-13,2 / -7,5 / -0,6 ^{Ba}	1,2 / 4,3 / 9,3 ^{Da}
	AE _{ab}	4,22 / 9,16 / 10,57 ^{Da}	0,75 / 1,03 / 1,96 ^{Ca}	0,87 / 1,25 / 5,37 ^{Ca}	0,09 / 0,49 / 0,85 ^{Aa}	-1,47 / 1,06 / 5,52 ^{ABcCa}	0,50 / 0,61 / 1,06 ^{ABa}	0,49 / 0,69 / 1,09 ^{Bb}
Averfärbt - erneut po- liert	Ra	-0,001 / 0,007 / 0,044 ^{Ba}	-0,029 / 0,004 / 0,122 ^{ABa}	-0,027 / -0,001 / 0,041 ^{ABa}	-0,015 / 0,004 / 0,014 ^{ABa}	-0,008 / 0,003 / 0,033 ^{ABaBb}	-0,009 / 0,002 / 0,033 ^{ABa}	-0,008 / 0,000 / 0,005 ^{Aa}
	FOE	22,4 / 34,2 / 38,0 ^{Cb}	30,3 / 35,1 / 43,8 ^{CDcEe}	33,9 / 38,0 / 39,8 ^{Dd}	26,1 / 30,5 / 35,1 ^{Bc}	-3,3 / 18,8 / 35,4 ^{Ab}	27,4 / 30,2 / 33,6 ^{Bc}	10,6 / 16,2 / 20,2 ^{Ab}
AE _{ab}	21,51 / 28,23 / 32,04 ^{EB}	9,08 / 22,54 / 25,66 ^{Db}	27,38 / 30,98 / 32,66 ^{Fb}	10,92 / 14,73 / 20,95 ^{EB}	9,32 / 10,85 / 28,70 ^{BcDdB}	13,82 / 19,05 / 24,58 ^{Cb}	0,62 / 0,77 / 0,89 ^{ABb}	

Tabelle 7 - Deskriptive Statistik der in Curry-Lösung gelagerten Gruppen.

*A, B, C, D, E, F: unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede eines Parameters zwischen den Materialien innerhalb der Gruppe des Färbemediums Curry-Lösung und innerhalb eines Politurzustandes. Daher ist die Kennzeichnung waagrecht (zeilenweise) zu verstehen.

*a, b, c, d, e, f: unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den unterschiedlichen Politurzuständen innerhalb eines Materials und innerhalb der Gruppe des Färbemediums Curry-Lösung. Daher ist die Kennzeichnung senkrecht (spaltenweise) zu verstehen.

Unterschiede zwischen den unterschiedlichen Verblendkompositen innerhalb des Färbemediums Curry-Lösung

IPS e.max CAD zeigte im Vergleich zu den übrigen in dieser Dissertation geprüften Materialien die niedrigsten initialen Rauigkeiten ($p \leq 0,026$). In:joy und Signum composite lagen im gleichen Wertebereich ($p = 0,705$) und zeigten ebenfalls niedrigere Rauigkeiten im Vergleich zu den restlichen Materialien ($p \leq 0,010$), jedoch höhere Werte als IPS e.max CAD ($p \leq 0,026$). Ceramage, dialog Vario und SR Nexco bildeten die folgende homogene Gruppe ($p = 0,450-0,940$). Gradia plus zeigte initial die höchsten Rauigkeiten im Vergleich zu allen anderen geprüften Materialien ($p < 0,001$).

Ceramage zeigte initial die niedrigste freie Oberflächenenergie im Vergleich zu den restlichen Materialien, lag jedoch im gleichen Wertebereich mit dialog Vario ($p = 0,096$). Dialog Vario bildete auch mit Gradia plus und Signum composite eine homogene Gruppe ($p = 0,256-0,705$) und lag außerdem im gleichen Wertebereich mit der Gruppe Gradia plus, in:joy und SR Nexco ($p = 0,258-0,449$). IPS e.max CAD zeigte die höchste freie Oberflächenenergie gegenüber allen anderen Materialien ($p \leq 0,010$).

Nach 14-tätiger Lagerung der Prüfkörper in Curry-Lösung zeigte IPS e.max CAD die niedrigsten Rauigkeitswerte ($p < 0,001$), gefolgt von in:joy und Signum composite, die im gleichen Wertebereich lagen ($p = 0,940$). Signum composite lag ebenfalls im Wertebereich von Ceramage ($p = 0,096$). Ceramage, dialog Vario und SR Nexco bildete ebenfalls eine homogene Gruppe ($p = 0,571-0,591$). Gradia plus wies die höchste Rauigkeit auf und unterschied sich von allen anderen Materialien ($p \leq 0,002$).

Die niedrigste Oberflächenenergie zeigte Signum composite, das im gleichen Wertebereich mit SR Nexco lag ($p=0,162$). SR Nexco unterschied sich jedoch in Bezug auf die Oberflächenenergie nicht von Ceramage, dialog Vario, und IPS e.max CAD ($p=0,054-0,570$). Ceramage, dialog Vario und IPS e.max CAD lagen im gleichen Wertebereich wie Gradia plus und in:joy ($p=0,054-0,853$).

Nach erneuter Politur zeigt IPS e.max CAD die geringsten Rauigkeiten ($p<0,001$), gefolgt von Signum composite ($p\leq 0,045$) und in:joy ($p\leq 0,045$). Ceramage, dialog Vario und SR Nexco bildeten eine homogene Gruppe ($p=0,151-0,820$), Gradia plus zeigte die höchsten Rauigkeiten ($p<0,001$).

Gradia plus zeigte die niedrigste Oberflächenenergie und bildete eine homogene Gruppe mit dialog Vario ($p=0,089$). Dialog Vario lag außerdem im gleichen Wertebereich mit Ceramage ($p=0,162$). Ceramage und SR Nexco bildeten ebenfalls eine homogene Gruppe ($p=0,096$), während SR Nexco auch im gleichen Wertebereich mit in:joy lag ($p=0,406$). Signum composite lag ebenfalls im Wertebereich von in:joy ($p=0,273$), zeigte jedoch, abgesehen von IPS e.max CAD, höhere Oberflächenenergie als die restlichen Materialien ($p\leq 0,041$). IPS e.max CAD zeigte die höchsten Werte ($p<0,001$).

Bei der Betrachtung des Differenzwertes der Rauigkeit zwischen dem initialen Wert und dem Wert nach 14-tägiger Lagerung der Prüfkörper in Curry-Lösung lagen IPS e.max CAD und Gradia plus mit den geringsten Unterschieden im gleichen Wertebereich ($p=0,704$). Gradia plus bildete jedoch mit allen weiteren Materialien eine homogene Gruppe ($p=0,054-0,970$).

Die niedrigste Differenz der freien Oberflächenenergie zeigte Signum composite und lag im gleichen Wertebereich mit IPS e.max CAD ($p=0,449$). Signum composite bildete zudem eine homogene Gruppe mit in:joy und SR Nexco ($p=0,449-0,940$), gefolgt von der homogenen Gruppe Gradia plus, Signum composite und SR Nexco ($p=0,054-0,545$). In der homogenen Gruppe mit den nächst höheren Werten befanden sich dialog Vario, Gradia plus und Signum composite ($p=0,096-0,880$), gefolgt von der homogenen Gruppe bestehend aus dialog Vario, Gradia plus und Ceramage ($p=0,096-0,880$).

Bei den ΔE -Werten zeigte IPS e.max CAD die geringste Verfärbung ($p<0,001$), gefolgt von in:joy und Signum composite, die im gleichen Wertebereich lagen ($p=0,545$). Signum composite und Nexco lagen ebenfalls im gleichen Wertebereich ($p=0,406$), dialog Vario und Signum composite bildeten die homogene Gruppe mit den nächst größeren Werten ($p=0,450$). Gradia

plus zeigte höhere ΔE -Werte als die bisher genannten Materialien ($p \leq 0,049$) und wurde nur von Ceramage übertroffen ($p \leq 0,045$).

Bei der Differenz zwischen initialem Zustand und erneuter Politur nach 14-tägiger Lagerung im Färbemedium Curry-Lösung zeigte Gradia plus die niedrigsten Werte und lag mit Ceramage, Signum composite und IPS e.max CAD im gleichen Wertebereich ($p = 0,070-0,970$), gefolgt von der homogenen Gruppe aus Ceramage, in:joy, Signum composite und IPS e.max CAD ($p = 0,076-0,970$). Die höchsten Werte verzeichnete die homogene Gruppe aus Ceramage, dialog Vario, in:joy, Signum composite und SR Nexco ($p = 0,131-0,970$).

Die kleinste Oberflächenenergiedifferenz zeigte Gradia plus und bildete mit dialog Vario eine homogene Gruppe ($p = 0,273$). Gleichzeitig lag dialog Vario im gleichen Wertebereich mit in:joy und SR Nexco ($p = 0,384-0,880$). Die folgende homogene Gruppe bildete Ceramage und Signum composite ($p = 0,597$). IPS e.max CAD zeigte den höchsten Differenzwert ($p < 0,001$).

Den niedrigsten ΔE -Wert zwischen initialem Zustand und erneuter Politur verzeichnete in:joy und lag im gleichen Wertebereich mit Signum composite und SR Nexco ($p = 0,082-0,257$). Signum composite und SR Nexco bildeten ebenfalls mit IPS e.max CAD eine homogene Gruppe ($p = 0,257-0,519$), gefolgt von der homogenen Gruppe dialog Vario, Gradia plus und Signum composite ($p = 0,173-0,880$). Ceramage zeigte die höchsten ΔE -Werte ($p < 0,001$).

Bei der Differenz zwischen 14-tägiger Lagerung in Curry-Lösung und erneuter Politur zeigte IPS e.max CAD die niedrigsten Werte und lag mit Ceramage, Gradia plus, in:joy, Signum composite und SR Nexco im gleichen Wertebereich ($p = 0,140-0,999$). Ceramage zeigte den größten Unterschied und bildete eine homogene Gruppe mit dialog Vario, Gradia plus, in:joy, Signum composite und SR Nexco ($p = 0,173-0,999$).

Die geringste Differenz in der freien Oberflächenenergie zeigte IPS e.max CAD und lag im gleichen Wertebereich mit Signum composite ($p = 0,650$), gefolgt in:joy und SR Nexco ($p < 0,999$). Die nächste homogene Gruppe bildeten Ceramage und dialog vario ($p = 0,325$), gefolgt von dialog Vario und Gradia plus mit dem höchsten Differenzwert mit gleichen Wertebereich ($p = 0,161$).

Bei den ΔE -Werten zeigte IPS e.max CAD die geringsten Werte ($p < 0,001$), gefolgt von in:joy, das mit Signum composite im gleichen Wertebereich lag ($p = 0,496$). Signum composite bildete

sowohl mit SR Nexco ($p=0,436$) als auch mit dialog Vario ($p=0,597$) homogene Gruppen. Aufsteigend und jeweils unterschiedlich zu den restlichen ΔE -Werten der Materialien zeigten sich Ceramage ($p\leq 0,019$) und Gradia plus ($p\leq 0,019$).

Unterschiede zwischen den unterschiedlichen Politurzuständen innerhalb eines Materials und innerhalb des Färbemediums Curry-Lösung

Im Vergleich der unterschiedlichen Politurzustände von Ceramage lagen die drei Differenzwerte zwischen initialem Wert und erneuter Politur, Verfärbung und erneuter Politur sowie Initialwert und Verfärbung, aufsteigend aufgelistet, im gleichen Wertebereich ($p=0,173-0,791$). Die homogene Gruppe mit den nächst höheren Werten bildeten der Initialzustand und erneute Politur ($p=0,199$), gefolgt von den Werten nach erneuter Politur und Verfärbung, die ebenfalls im gleichen Wertebereich lagen ($p=0,140$).

Bei der freien Oberflächenenergie zeigte die Differenz zwischen Initialwerten und denen nach erneuter Politur die geringsten Werte ($p<0,001$), gefolgt von den anderen ermittelten Differenzen, die eine homogene Gruppe bildeten ($p=0,273$). Die Initialwerte und jene nach erneuter Politur lagen im gleichen Wertebereich ($p=0,226$), die höchsten Werte lagen beim verfärbten Zustand ($p<0,001$).

Der geringste ΔE -Werte waren zwischen initialem Zustand und erneuter Politur ($p<0,001$) nachweisbar, gefolgt vom Differenzwert zwischen Verfärbung und erneuter Politur ($p\leq 0,010$). Die Differenz zwischen initialem Zustand und Verfärbung war die höchste ($p\leq 0,010$).

Die geringste Rauigkeit bei dialog Vario zeigte die Differenz zwischen Initialwert und erneuter Politur und bildete mit den Differenzen zwischen Verfärbung und erneute Politur sowie Initialwert und Verfärbung eine homogene Gruppe ($p=0,096-0,496$). Die Rauigkeiten der übrigen drei Politurzustände lagen im gleichen Wertebereich ($p=0,070-0,762$).

Bei der freien Oberflächenenergie war der Differenzwert zwischen Initialzustand und erneuter Politur der kleinste ($p<0,001$), gefolgt von der Differenz zwischen initialem und verfärbtem Zustand ($p\leq 0,002$). Die Differenz zwischen Verfärbung und erneuter Politur lag mit dem Wert nach erneuter Politur im gleichen Wertebereich ($p=0,570$). Der Initialwert unterschied sich von allen anderen Politurzuständen ($p\leq 0,005$) und wurde nur vom höchsten Wert nach Verfärbung übertroffen ($p<0,001$).

Den geringsten ΔE -Werte wies die Differenz zwischen Initialwert und erneuter Politur auf ($p < 0,001$). Die übrigen beiden Werte lagen im gleichen Wertebereich ($p = 0,291$).

Gradia plus zeigte bei den Rauigkeiten zwei homogene Gruppen bestehend aus den Differenzwerten ($p = 0,186-0,677$) und den Messwerten mit den höheren Werten ($p = 0,307-0,970$).

Die freie Oberflächenenergie unterschied sich in den jeweiligen Politurzuständen voneinander, beginnend mit dem geringsten Wert, den die Differenz zwischen Initialzustand und erneuter Politur darstellte ($p < 0,001$), gefolgt von der Differenz zwischen Initialzustand und Verfärbung ($p < 0,001$), nach erneuter Politur ($p \leq 0,008$), der Differenz zwischen Verfärbung und erneuter Politur ($p \leq 0,008$), dem Initialwert ($p < 0,001$) und dem höchsten Wert nach Verfärbung ($p < 0,001$).

Den geringsten ΔE -Wert wies die Differenz zwischen Initialwert und erneuter Politur auf ($p < 0,001$). Die übrigen beiden Werte lagen im gleichen Wertebereich ($p = 0,545$).

Die geringste Rauigkeit bei in:joy zeigte die Differenz zwischen Initialwert und erneuter Politur und bildete mit den Differenzen zwischen Verfärbung und erneuter Politur sowie Initialwert und Verfärbung eine homogene Gruppe ($p = 0,226-0,473$), gefolgt vom Initialwert und der Rauigkeit nach erneuter Politur, die im gleichen Wertebereich lagen ($p = 0,121$). Die höchste Rauigkeit wurde in verfärbtem Zustand ermittelt und lag im gleichen Wertebereich mit der Rauigkeit nach erneuter Politur ($p = 0,496$).

Die freie Oberflächenenergie unterschied sich in den jeweiligen Politurzuständen voneinander, beginnend mit dem geringsten Differenzwert zwischen Initialzustand und erneuter Politur ($p < 0,001$), gefolgt von der Differenz zwischen Initialzustand und Verfärbung ($p < 0,001$), nach erneuter Politur ($p < 0,008$), der Differenz zwischen Verfärbung und erneuter Politur ($p < 0,008$), dem Initialwert ($p < 0,001$) und dem höchsten Wert nach Verfärbung ($p < 0,001$).

Den geringsten ΔE -Werte zeigte die Differenz zwischen Initialwert und erneuter Politur auf ($p < 0,001$), während die anderen beiden Werte im gleichen Bereich lagen ($p = 0,940$).

Signum composite zeigte die niedrigsten Rauigkeiten bei der Differenz zwischen Initialwert und nach erneuter Politur und lag mit der Differenz zwischen Verfärbung und erneuter Politur im gleichen Wertebereich ($p = 0,345$). Letztere bildete ebenfalls eine homogene Gruppe mit der Differenz zwischen Initialwert und Verfärbung ($p = 0,496$). Die initiale Rauigkeit lag sowohl im

gleichen Wertebereich mit der Rauigkeit nach erneuter Politur ($p=0,762$) als auch im Wertebereich mit der Rauigkeit nach Verfärbung, die die höchsten Werte aufwies ($p=0,064$).

Die geringste Oberflächenenergie zeigte die Differenz zwischen initialem und erneut poliertem Zustand ($p\leq 0,004$), gefolgt von der homogenen Gruppe aus der den Differenzen zwischen initial- und verfärbten Zustand sowie verfärbten- und erneut poliertem Zustand ($p=0,762$). Die nächste homogene Gruppe bildeten die Werte nach erneuter Politur sowie die Initialwerte ($p=0,762$). Die Oberflächenenergie im verfärbten Zustand zeigte sich am höchsten ($p<0,001$).

Der geringste ΔE -Werte zeigte sich zwischen initialem Zustand und erneuter Politur ($p<0,001$), während die anderen beiden Werte im gleichen Wertebereich lagen ($p=0,880$).

Bei SR Nexco zeigte die Differenz zwischen Verfärbung und erneuter Politur die geringste Rauigkeit und lag mit der Differenz zwischen initialem Wert und nach Verfärbung im gleichen Wertebereich ($p=0,112$). Die Differenz zwischen Initialwert und nach erneuter Politur bildete ebenfalls eine homogene Gruppe mit der Differenz zwischen initialem und verfärbtem Zustand ($p=0,820$). Die initiale Rauigkeit unterschied sich von allen anderen Politurzuständen ($p\leq 0,016$) und wurde nur von der homogenen Gruppe der Rauigkeiten nach erneuter Politur und nach Verfärbung übertroffen ($p=0,326$).

Die freie Oberflächenenergie unterschied sich in den jeweiligen Politurzuständen voneinander, beginnend mit dem geringsten Wert, den der Differenzwert zwischen Initialzustand und erneuter Politur darstellte ($p<0,001$), gefolgt von der Differenz zwischen Initialzustand und Verfärbung ($p<0,001$), der Differenz zwischen Verfärbung und erneuter Politur ($p<0,001$), der Oberflächenenergie nach erneuter Politur ($p<0,001$), dem Initialwert ($p<0,001$) und dem höchsten Wert nach Verfärbung ($p<0,001$).

Der geringste ΔE -Werte zeigt sich zwischen initialem Zustand und erneuter Politur ($p<0,001$), während die anderen beiden Werte im gleichen Wertebereich liegen ($p=0,291$).

Die Rauigkeiten von IPS e.max CAD stellten sich in zwei homogenen Gruppen dar, angeführt von der Differenz zwischen initialem Wert und Verfärbung mit dem geringsten Wert, der im gleichen Wertebereich mit den anderen beiden Differenzwerten lag ($p=0,650-0,880$). Die übrigen drei Messwerte bildeten die zweite homogene Gruppe ($p=0,830-0,910$).

Die freie Oberflächenenergie unterschied sich in den jeweiligen Politurzuständen voneinander, beginnend mit dem geringsten Wert, den der Differenzwert zwischen Initialzustand und erneuter Politur darstellte ($p < 0,001$), gefolgt von der Differenz zwischen Verfärbung und erneuter Politur ($p \leq 0,006$), der Differenz zwischen Initialwert und Verfärbung ($p < 0,001$), dem Initialwert ($p < 0,001$), der Oberflächenenergie nach erneuter Politur ($p < 0,001$) und dem höchsten Wert nach Verfärbung ($p < 0,001$).

Den geringsten ΔE -Wert verzeichnete die Differenz zwischen initialem und verfärbtem Zustand und lag damit im gleichen Wertebereich wie die Differenz zwischen Verfärbung und erneuter Politur ($p = 0,112$). Die Differenz zwischen Initialzustand und erneuter Politur bildet ebenfalls eine homogene Gruppe mit dem ΔE -Werte zwischen Verfärbung und erneuter Politur ($p = 0,705$).

Deskriptive Statistik mit Minimum / Median / Maximum der in Kaffee gelagerten Gruppen*

Material	Ceramage	dialog Vario	Gratia plus	in:joy	Signum compo-site	SR Nexco	IPS e:max CAD	
initial	Ra	0,086 / 0,112 / 0,134 ^D e	0,063 / 0,087 / 0,114 ^C e	0,129 / 0,138 / 0,164 ^E e	0,059 / 0,067 / 0,083 ^B e	0,059 / 0,064 / 0,084 ^B e	0,066 / 0,080 / 0,097 ^C e	0,047 / 0,050 / 0,063 ^A e
	FOE	32,2 / 36,1 / 37,8 ^A B ^b	33,6 / 35,5 / 41,7 ^B B ^b	30,1 / 33,4 / 38,0 ^A B ^b	37,8 / 42,9 / 53,1 ^C e	40,0 / 41,9 / 46,6 ^C d	37,3 / 41,8 / 45,8 ^C e	50,0 / 54,3 / 57,6 ^D e
verfärbt	Ra	0,112 / 0,141 / 0,154 ^C e	0,083 / 0,107 / 0,120 ^B d	0,142 / 0,159 / 0,192 ^D d	0,073 / 0,091 / 0,119 ^A d	0,076 / 0,086 / 0,098 ^A d	0,098 / 0,111 / 0,146 ^B e	0,055 / 0,073 / 0,124 ^A e
	FOE	72,6 / 73,6 / 74,5 ^C D ^d	72,3 / 73,3 / 76,2 ^C D ^d	72,2 / 73,6 / 74,7 ^D e	71,8 / 72,5 / 73,0 ^B d	72,2 / 73,3 / 73,9 ^C D ^f	72,1 / 73,2 / 73,7 ^C d	69,7 / 71,3 / 73,0 ^A d
erneuert po- liert	Ra	0,082 / 0,105 / 0,129 ^D e	0,079 / 0,093 / 0,107 ^C e,d	0,154 / 0,174 / 0,190 ^E d	0,063 / 0,069 / 0,078 ^B e	0,060 / 0,065 / 0,092 ^B e	0,083 / 0,092 / 0,106 ^C d	0,051 / 0,056 / 0,060 ^A d
	FOE	36,6 / 39,6 / 45,3 ^B e	32,1 / 34,1 / 38,9 ^A b	31,4 / 35,6 / 40,4 ^A b ^e	40,5 / 45,8 / 47,6 ^C e	39,8 / 46,7 / 48,5 ^C e	39,6 / 41,6 / 43,3 ^B e	49,5 / 53,5 / 56,3 ^D e
Ainitial - verfärbt	Ra	0,002 / 0,018 / 0,055 ^A b	0,001 / 0,015 / 0,040 ^A b	-0,004 / 0,025 / 0,053 ^A B ^b	0,007 / 0,022 / 0,052 ^A B ^b	0,010 / 0,021 / 0,026 ^A b	0,017 / 0,033 / 0,065 ^B b	0,007 / 0,024 / 0,073 ^A B ^b
	FOE	35,2 / 37,4 / 41,4 ^C a	30,6 / 38,3 / 39,8 ^C e	36,4 / 40,4 / 44,5 ^D d	19,8 / 29,7 / 34,7 ^B b	26,8 / 31,2 / 33,3 ^B e	27,3 / 31,5 / 35,8 ^B b	13,2 / 17,1 / 22,7 ^A b
Ainitial - erneuert po- liert	AE_{ab}	7,06 / 8,12 / 10,08 ^F e	4,56 / 5,21 / 5,57 ^C e	8,21 / 8,64 / 8,89 ^F e	5,32 / 5,60 / 6,07 ^D e	5,50 / 6,17 / 8,01 ^F b	4,09 / 4,28 / 5,03 ^B b	2,08 / 3,13 / 5,09 ^A b
	Ra	-0,020 / -0,003 / 0,002 ^A a	-0,008 / 0,005 / 0,028 ^B C ^a	0,016 / 0,030 / 0,052 ^D b	-0,015 / 0,003 / 0,011 ^B a	-0,006 / 0,001 / 0,010 ^B a	0,001 / 0,011 / 0,025 ^C a	-0,008 / 0,006 / 0,013 ^B C ^a
Averfärbt - erneuert po- liert	FOE	-0,6 / 4,8 / 10,0 ^D b	-4,2 / -1,6 / 1,7 ^A a	-2,1 / 1,7 / 10,3 ^B C ^D a	-5,5 / 2,5 / 6,2 ^B C ^D a	-2,4 / 5,2 / 7,6 ^C D ^a	-4,5 / 0,6 / 4,6 ^A B ^C a	-6,3 / -0,7 / 5,2 ^A B ^a
	AE_{ab}	2,03 / 3,08 / 4,70 ^D a	1,00 / 1,20 / 1,72 ^B a	1,00 / 1,47 / 1,65 ^C a	0,59 / 0,69 / 0,99 ^A a	0,54 / 0,66 / 0,98 ^A a	0,73 / 1,09 / 2,05 ^B C ^a	0,47 / 0,64 / 0,95 ^A a
Averfärbt - erneuert po- liert	Ra	0,005 / 0,033 / 0,054 ^C b	-0,003 / 0,012 / 0,024 ^B a ^b	-0,026 / -0,011 / 0,019 ^A a	0,009 / 0,017 / 0,050 ^B C ^b	0,002 / 0,018 / 0,028 ^B b	0,000 / 0,020 / 0,060 ^B C ^a b	-0,005 / 0,019 / 0,067 ^B C ^b
	FOE	28,0 / 34,2 / 36,9 ^C e	33,4 / 39,7 / 44,0 ^D e	34,2 / 38,4 / 41,9 ^D e,d	24,3 / 26,9 / 32,0 ^B b	25,2 / 26,3 / 34,0 ^B b	29,9 / 31,5 / 34,1 ^C b	14,9 / 18,2 / 21,9 ^A b
AE_{ab}	4,67 / 5,43 / 5,70 ^C b	4,37 / 4,70 / 5,13 ^B b	7,01 / 7,54 / 8,45 ^F b	5,12 / 5,25 / 5,71 ^C b	5,50 / 5,68 / 21,86 ^D b	4,01 / 4,71 / 5,11 ^B e	2,15 / 3,25 / 5,23 ^A b	

Tabelle 8 - Deskriptive Statistik der in Kaffee gelagerten Gruppen

*A, B, C, D, E, F: unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede eines Parameters zwischen den Materialien innerhalb der Gruppe des Färbemediums Kaffee und innerhalb eines Politurzustandes. Daher ist die Kennzeichnung waagrecht (zeilenweise) zu verstehen.

*a, b, c, d, e, f: unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den unterschiedlichen Politurzuständen innerhalb eines Materials und innerhalb der Gruppe des Färbemediums Kaffee. Daher ist die Kennzeichnung senkrecht (spaltenweise) zu verstehen.

Unterschiede zwischen den unterschiedlichen Verblendkompositen innerhalb des Färbemediums Kaffee

IPS e.max CAD zeigte im Vergleich zu den übrigen in dieser Dissertation geprüften Materialien initial die niedrigste Rauigkeit ($p < 0,001$) in der mit Kaffee gefärbten Gruppe. In:joy und Signum composite lagen im gleichen Wertebereich ($p = 0,473$) und zeigten ebenfalls niedrigere Rauigkeiten im Vergleich zu den restlichen Materialien ($p \leq 0,009$), abgesehen von IPS e.max CAD. Dialog Vario und SR Nexco bildeten die folgende homogene Gruppe ($p = 0,290$). Ceramage zeigte die zweithöchste Rauigkeit und unterschied sich von allen übrigen getesteten Materialien ($p \leq 0,009$). Gradia plus zeigte initial die höchsten Rauigkeiten ($p < 0,001$).

Initial zeigte Gradia plus die geringste freie Oberflächenenergie und lag im gleichen Wertebereich mit Ceramage ($p = 0,064$). Ceramage lag ebenfalls im gleichen Wertebereich mit dialog Vario ($p = 0,850$), welches sich jedoch von Gradia plus unterschied ($p = 0,023$). Die folgende homogene Gruppe wurde gebildet von in:joy, Signum composite und SR Nexco ($p = 0,241-0,650$). Die höchste Oberflächenenergie zeigte IPS e.max CAD ($p < 0,001$).

Nach 14-tägiger Lagerung in Kaffee zeigte IPS e.max CAD die geringste Rauigkeit und lag mit in:joy und Signum composite im gleichen Wertebereich ($p = 0,064-0,495$), gefolgt von der homogenen Gruppe mit dialog Vario und SR Nexco ($p = 0,226$). Ceramage zeigte die zweithöchste Rauigkeit ($p \leq 0,016$), gefolgt von Gradia plus mit dem höchsten Wert ($p < 0,001$).

Die geringste Oberflächenenergie zeigte nach 14-tägiger Lagerung in Kaffee IPS e.max CAD ($p \leq 0,031$), gefolgt von in:joy ($p \leq 0,031$) und SR Nexco, welches ebenfalls mit Ceramage, dialog Vario und Signum composite im gleichen Wertebereich lag ($p = 0,075-0,820$). Ceramage, dialog Vario und Signum composite bildeten darüber hinaus mit Gradia plus, das die höchste Oberflächenenergie verzeichnete, eine homogene Gruppe ($p = 0,185-0,596$).

Nach erneuter Politur zeigt IPS e.max CAD die geringste Oberflächenrauigkeit ($p < 0,001$), gefolgt von der homogenen Gruppe aus in:joy und Signum composite ($p = 0,496$). Dialog Vario und SR Nexco lagen im nächst höheren Wertebereich ($p = 0,762$). Ceramage unterschied sich von allen übrigen Materialien ($p \leq 0,045$) und wurde nur von Gradia plus mit der höchsten Rauigkeit übertroffen ($p < 0,001$).

Bezüglich der Oberflächenenergie zeigte dialog Vario die geringsten Werte und lag mit Gradia plus im gleichen Wertebereich ($p = 0,151$), gefolgt von Ceramage und SR Nexco, die eine homogene Gruppe bildeten ($p = 0,162$). In:joy und Signum composite lagen ebenfalls im gleichen Wertebereich ($p = 0,211$) und wurden nur vom IPS e.max CAD mit der höchsten Oberflächenenergie übertroffen ($p < 0,001$).

Die geringste Differenz in der Rauigkeit zwischen initialem und verfärbtem Zustand zeigte dialog Vario, das im gleichen Wertebereich mit Ceramage, Gradia plus, in:joy, Signum composite und IPS e.max CAD lag ($p = 0,089-0,940$). Die folgende homogene Gruppe wurde gebildet von Gradia plus, in:joy, SR Nexco und IPS e.max CAD ($p = 0,054-0,940$), wobei SR Nexco den höchsten Wert verzeichnete.

Die geringste Oberflächenenergiedifferenz zwischen initialem-und verfärbten Zustand zeigte IPS e.max CAD ($p \leq 0,001$), gefolgt von der homogenen Gruppe aus in:joy, Signum composite und SR Nexco ($p = 0,082-0,384$). Die nächste Gruppe bildeten Ceramage und dialog Vario ($p = 0,791$). Gradia plus zeigte die höchste Differenz ($p \leq 0,041$).

Den geringsten ΔE -Wert zwischen initialem-und verfärbtem Zustand verzeichnete IPS e.max CAD ($p \leq 0,002$), gefolgt von SR Nexco ($p \leq 0,002$), dialog Vario ($p < 0,001$), in:joy ($p \leq 0,003$) und Signum composite ($p \leq 0,003$) in ansteigender Reihenfolge, die sich jeweils von den übrigen getesteten Materialien unterschieden. Den höchsten Wert zeigte Gradia plus, das eine homogene Gruppe mit Ceramage bildete ($p = 0,545$).

Bei der Differenz zwischen initialer Rauigkeit und der Rauigkeit nach erneuter Politur zeigte Ceramage die kleinste Differenz ($p \leq 0,016$), gefolgt von der homogenen Gruppe bestehend aus dialog Vario, in:joy, Signum composite und IPS e.max CAD ($p = 0,363-0,970$). Dialog Vario, SR Nexco und IPS e.max CAD lagen ebenfalls im gleichen Wertebereich ($p = 0,130-0,970$), Gradia plus zeigte die höchste Differenz ($p \leq 0,002$).

Die niedrigste Oberflächenenergie zeigte dialog Vario, das mit SR Nexco und IPS e.max CAD im gleichen Wertebereich lag ($p = 0,186-0,726$). Die nächste homogene Gruppe bildeten Gradia

plus, in:joy, SR Nexco und IPS e.max CAD ($p=0,064-0,970$), gefolgt von der Gruppe bestehend aus Gradia plus, in:joy, Signum composite und SR Nexco ($p=0,054-0,970$). Ceramage verzeichnete die größte Differenz und lag mit Gradia plus, in:joy und Signum composite in einem Wertebereich ($p=0,0151-0,970$).

IPS e.max CAD verzeichnete den geringsten ΔE -Wert zwischen initialem und erneut poliertem Zustand und lag in einem Wertebereich mit in:joy und Signum composite ($p=0,193-0,773$). SR Nexco lag außerdem jeweils mit dialog Vario ($p=0,649$) und Gradia plus ($p=0,112$) in einem Wertebereich. Den höchsten Wert verzeichnete Ceramage ($p<0,001$).

Die geringste Differenz in der Rauigkeit zwischen verfärbtem- und erneut poliertem Zustand zeigte Gradia plus ($p\leq 0,013$), gefolgt von dialog Vario, in:joy, Signum composite, SR Nexco und IPS e.max CAD, die im gleichen Wertebereich lagen ($p=0,096-0,940$). Ceramage, welches die größte Differenz aufwies, bildet eine homogene Gruppe mit in:joy, SR Nexco und IPS e.max CAD ($p=0,112-0,940$).

Bei der freien Oberflächenenergie zeigte IPS e.max CAD die kleinste Differenz ($p<0,001$), gefolgt von in:joy und Signum composite, die im gleichen Wertebereich lagen ($p=0,762$). Die nächste homogene Gruppe bildeten Ceramage und SR Nexco ($p=0,104$), wobei dialog Vario mit der höchsten Differenz im gleichen Wertebereich mit Gradia plus lag ($p=0,427$).

IPS e.max CAD verzeichnete den geringsten ΔE -Wert zwischen verfärbtem- und erneut poliertem Zustand ($p\leq 0,002$), gefolgt von dialog Vario und SR Nexco, die im gleichen Wertebereich lagen ($p=0,940$). Die nächste homogene Gruppe beinhaltete Ceramage und in:joy ($p=0,496$). Signum composite unterschied sich von allen übrigen Materialien ($p\leq 0,019$) und wurde lediglich durch Gradia plus mit dem höchsten Wert übertroffen ($p\leq 0,010$).

Unterschiede zwischen den unterschiedlichen Politurzuständen innerhalb eines Materials und innerhalb des Färbemediums Kaffee

Beim Vergleich der Rauigkeiten der unterschiedlichen Politurzustände von Ceramage in der mit Kaffee verfärbten Prüfkörpergruppe zeigte die Differenz zwischen initialem und erneut poliertem Zustand den niedrigsten Wert ($p<0,001$), gefolgt von der homogenen Gruppe bestehend aus den beiden anderen Differenzwerten ($p=0,226$). Die Rauigkeiten initial und nach erneuter Politur lagen im gleichen Wertebereich ($p=0,345$) und wurden nur von der höchsten Rauigkeit nach Verfärbung ($p\leq 0,016$) übertroffen.

Die Differenz zwischen Initialzustand und erneuter Politur zeigte den geringsten Wert der Oberflächenenergie ($p < 0,001$), gefolgt von der Gruppe aus Initialwert und Differenz aus Verfärbung und erneuter Politur ($p = 0,096$). Die Differenz zwischen initialem und verfärbtem Zustand lag mit dem Initialwert im gleichen Wertebereich ($p = 0,130$). Die Oberflächenenergie nach Verfärbung war am höchsten ($p < 0,001$).

Der ΔE -Wert zwischen initialem und erneut poliertem Zustand präsentierte sich als am kleinsten ($p < 0,001$), gefolgt von der Differenz zwischen Verfärbung und erneuter Politur ($p < 0,001$). Zwischen initialem und verfärbtem Zustand zeigte sich der ΔE -Wert am höchsten ($p < 0,001$).

Bei dialog Vario zeigte sich die geringste Rauigkeit in der Differenz zwischen initialem und erneut poliertem Zustand, der mit der Differenz zwischen Verfärbung und erneuter Politur in einem Wertebereich lag ($p = 0,226$). Der zuletzt genannte lag ebenfalls mit der Differenz zwischen initialer- und Rauigkeit nach Verfärbung im gleichen Wertebereich ($p = 0,212$). Die initiale Rauigkeit bildete eine homogene Gruppe mit dem Zustand nach erneuter Politur ($p = 0,257$). Die größte Rauigkeit zeigte dialog Vario nach Verfärbung und lag damit im gleichen Wertebereich mit der Rauigkeit nach erneuter Politur ($p = 0,054$).

Die niedrigste Oberflächenenergie verzeichnete die Differenz zwischen Initialzustand und nach erneuter Politur ($p < 0,001$), gefolgt von der homogenen Gruppe aus erneuter Politur und Initialzustand ($p = 0,070$). Die folgende Gruppe bildeten die Differenzen aus Initialzustand und Verfärbung bzw. Verfärbung und erneuter Politur ($p = 0,130$), gefolgt von der höchsten Oberflächenenergie nach Verfärbung ($p < 0,001$).

Der ΔE -Wert verzeichnete seinen geringsten Wert in der Differenz zwischen Initialzustand und erneuter Politur ($p < 0,001$), gefolgt von der Differenz zwischen Verfärbung und erneuter Politur ($p \leq 0,007$). Die größte Farbdifferenz bestand zwischen initialem und verfärbtem Zustand ($p \leq 0,007$).

Gradia plus verzeichnete seine geringste Rauigkeit in der Differenz zwischen Verfärbung und erneuter Politur ($p < 0,001$), gefolgt von der homogenen Gruppe aus den anderen beiden Differenzwerten ($p = 0,345$). Die initiale Rauigkeit unterschied sich von allen übrigen Politurzuständen ($p \leq 0,002$) und lag unter der Rauigkeit in verfärbtem und in erneut poliertem Zustand. Letztere lagen in einem gemeinsamen Wertebereich ($p = 0,273$).

Die geringste Oberflächenenergie zeigte Gradia plus in der Differenz zwischen initialem und erneut poliertem Zustand ($p < 0,001$). Es folgten der Initialwert und die Oberflächenenergie nach

erneuter Politur, die eine homogene Gruppe bildeten ($p=0,054$). Die Zustände nach erneuter Politur und die Differenz zwischen Verfärbung und erneuter Politur lagen ebenfalls im gleichen Wertebereich ($p=0,089$), es folgte die homogene Gruppe aus den Differenzen zwischen Verfärbung und erneuter Politur sowie zwischen Initialwert und Verfärbung ($p=0,064$). Die höchste Oberflächenenergie verzeichnete der Zustand nach Verfärbung ($p<0,001$).

Die ΔE -Werte unterschieden sich jeweils voneinander ($p<0,001$), wobei zwischen initialem und erneut poliertem Zustand die geringste Differenz bestand, gefolgt von der Differenz zwischen Verfärbung und erneuter Politur. Zwischen Initialzustand und Verfärbung bestand der größte Unterschied.

In:joy zeigte die geringste Rauigkeit in der Differenz zwischen initialem und erneut poliertem Zustand ($p<0,001$), gefolgt von der homogenen Gruppe der anderen beiden Differenzwerte ($p=0,226$). Die Rauigkeiten im initialen und im erneut polierten Zustand lagen im gleichen Wertebereich ($p=0,405$) und wurden nur vom höchsten Wert nach Verfärbung übertroffen ($p<0,001$).

Gleichermaßen verhielt es sich mit der freien Oberflächenenergie: Die Differenz zwischen initialem und erneut poliertem Zustand zeigte den geringsten Wert ($p<0,001$), gefolgt von der homogenen Gruppe der anderen beiden Differenzwerte ($p=0,121$). Initial- und erneut polierter Zustand bildeten ebenfalls eine homogene Gruppe ($p=0,096$). Nach Verfärbung war die Oberflächenenergie am höchsten ($p<0,001$).

Die ΔE -Werte unterschieden sich jeweils voneinander ($p<0,001$). Zwischen initialem und erneut poliertem Zustand bestand die geringste Differenz, gefolgt von der Differenz zwischen Verfärbung und erneuter Politur und der Differenz zwischen Initialzustand und Verfärbung.

Beim Vergleich der Rauigkeiten der Politurzustände von Signum composite zeigte die Differenz zwischen initialem und erneut poliertem Zustand den niedrigsten Wert ($p<0,001$), gefolgt von der homogenen Gruppe bestehend aus den beiden anderen Differenzwerten ($p=0,256$). Die Rauigkeiten initial und nach erneuter Politur lagen im gleichen Wertebereich ($p=0,571$) und wurden von der höchsten Rauigkeit nach Verfärbung ($p\leq 0,002$) übertroffen.

Die Oberflächenenergie unterschied sich zwischen den unterschiedlichen Politurzuständen jeweils voneinander, beginnend mit dem kleinsten Wert in der Differenz zwischen initialem und erneut poliertem Zustand ($p<0,001$), gefolgt von der Differenz zwischen verfärbtem und erneut poliertem Zustand ($p\leq 0,008$), der Differenz zwischen initialem und verfärbtem Zustand

($p \leq 0,001$ - $0,008$), dem Initialwert ($p \leq 0,009$), der Oberflächenenergie nach erneuter Politur ($p \leq 0,009$) und dem höchsten Wert nach Verfärbung ($p < 0,001$).

Der geringste ΔE -Werte zeigte sich in der Differenz zwischen Initialwert und erneute Politur ($p < 0,001$), die beiden anderen Differenzwerte bildeten eine homogene Gruppe ($p = 0,096$).

SR Nexco zeigte die geringste Rauigkeit in der Differenz zwischen initialem und erneut poliertem Zustand, die mit der Differenz aus verfärbtem und erneut poliertem Zustand im gleichen Wertebereich lag ($p = 0,064$). Letzt genannte lag ebenfalls mit der Differenz zwischen initialem und verfärbtem Zustand in einem Wertebereich ($p = 0,199$). Es folgte die Rauigkeit im Initialzustand ($p \leq 0,008$) vor der Rauigkeit nach erneuter Politur ($p \leq 0,008$). Die höchste Rauigkeit zeigte SR Nexco nach Verfärbung ($p < 0,001$).

Die geringste Oberflächenenergie zeigte SR Nexco bei der Differenz zwischen initialem und erneut poliertem Zustand ($p < 0,001$), gefolgt von der homogenen Gruppe mit den übrigen beiden Differenzwerten ($p = 0,545$). Die Oberflächenenergie im Initialzustand und nach erneuter Politur lagen im gleichen Wertebereich ($p = 0,649$) und wurden nur vom höchsten Wert nach Verfärbung übertroffen ($p < 0,001$).

Die ΔE -Werte unterschieden sich jeweils voneinander ($p \leq 0,016$), wobei zwischen initialem und erneut poliertem Zustand die geringste Differenz bestand, gefolgt von der Differenz zwischen initialem Zustand und Verfärbung. Zwischen Verfärbung und erneuter Politur bestand der größte Unterschied.

Die Differenz zwischen initialer Rauigkeit und nach erneuter Politur zeigte bei IPS e.max CAD den geringsten Wert ($p \leq 0,015$), gefolgt von der homogenen Gruppe mit den übrigen beiden Differenzwerten ($p = 0,364$). Es folgte der Initialwert ($p \leq 0,016$) und die Rauigkeit nach erneuter Politur ($p \leq 0,007$). Die höchste Rauigkeit zeigte sich nach Verfärbung ($p < 0,001$).

Die Differenz zwischen initialem Zustand und nach erneuter Politur zeigte die geringste Oberflächenenergie ($p < 0,001$), gefolgt von der Gruppe mit den anderen beiden Differenzwerten ($p = 0,364$). Die Oberflächenenergie nach erneuter Politur lag mit dem Initialwert im gleichen Wertebereich ($p = 0,307$) und wurde nur vom höchsten Wert nach Verfärbung übertroffen ($p < 0,001$).

Der geringste ΔE -Werte zeigte sich in der Differenz zwischen Initialwert und erneute Politur ($p < 0,001$), die beiden anderen Differenzwerte bildeten eine homogene Gruppe ($p = 0,291$).

Deskriptive Statistik mit Minimum / Median / Maximum der in Karottensaft gelagerten Gruppen*

Material	Ceramage	dialog Vario	Gradia plus	in:joy	Signum compo-site	SR Nexco	IPS e-max CAD	
initial	Ra	0,072 / 0,082 / 0,102 ^{D_B}	0,073 / 0,087 / 0,011 ^{D_C}	0,104 / 0,125 / 0,213 ^{E_B}	0,058 / 0,067 / 0,075 ^{B_E}	0,046 / 0,057 / 0,075 ^{A_{B₃}}	0,067 / 0,075 / 0,088 ^{C_D}	0,045 / 0,052 / 0,063 ^{A_B}
	FOE	47,7 / 50,3 / 53,2 ^{D_E}	40,3 / 42,4 / 43,4 ^{A_E}	46,9 / 48,6 / 50,2 ^{C_B}	43,9 / 46,1 / 49,0 ^{B_E}	39,5 / 41,3 / 44,6 ^{A_D}	44,4 / 47,5 / 52,0 ^{B_{C_E}}	32,9 / 37,9 / 53,2 ^{A_{B_{C_E}}}
verfärbt	Ra	0,096 / 0,155 / 0,267 ^{C_{D_B}}	0,092 / 0,120 / 0,413 ^{C_{D_d}}	0,101 / 0,126 / 0,218 ^{C_B}	0,056 / 0,072 / 0,083 ^{A_E}	0,115 / 0,144 / 0,186 ^{D_d}	0,072 / 0,081 / 0,134 ^{B_B}	0,049 / 0,065 / 0,097 ^{A_{B_E}}
	FOE	70,5 / 71,9 / 75,1 ^{A_{B_f}}	66,6 / 72,2 / 74,1 ^{A_{B_f}}	72,9 / 74,2 / 75,2 ^{D_f}	72,7 / 73,4 / 74,0 ^{C_f}	70,8 / 72,7 / 73,8 ^{B_E}	70,1 / 71,6 / 73,5 ^{A_{B_f}}	69,6 / 71,8 / 72,6 ^{A_d}
erneut po- liert	Ra	0,077 / 0,087 / 0,096 ^{C_D}	0,076 / 0,085 / 0,090 ^{C_C}	0,119 / 0,131 / 0,170 ^{D_B}	0,054 / 0,061 / 0,081 ^{A_E}	0,057 / 0,073 / 0,089 ^{B_E}	0,072 / 0,080 / 0,088 ^{B_{C_B}}	0,056 / 0,062 / 0,074 ^{A_E}
	FOE	35,3 / 37,7 / 41,6 ^{B_d}	35,1 / 36,9 / 41,1 ^{B_d}	32,4 / 35,4 / 40,0 ^{A_d}	34,5 / 37,8 / 41,6 ^{B_d}	29,2 / 39,5 / 47,3 ^{B_{C_E}}	39,6 / 42,4 / 45,0 ^{D_d}	37,5 / 41,7 / 46,9 ^{C_{D_E}}
Ainitial - verfärbt	Ra	0,019 / 0,070 / 0,186 ^{C_{D_B}}	0,009 / 0,038 / 0,318 ^{C_B}	-0,015 / -0,002 / 0,009 ^{A_a}	-0,012 / 0,005 / 0,016 ^{A_{B₃}}	0,061 / 0,078 / 0,127 ^{D_E}	-0,014 / 0,007 / 0,060 ^{A_{B_a}}	-0,010 / 0,012 / 0,047 ^{B_a}
	FOE	18,1 / 21,4 / 26,0 ^{A_B}	23,2 / 30,1 / 31,7 ^{D_B}	23,7 / 25,9 / 28,0 ^{B_E}	24,2 / 27,4 / 30,0 ^{C_B}	27,2 / 31,6 / 33,2 ^{D_B}	21,2 / 24,3 / 29,1 ^{A_{B_B}}	17,6 / 33,5 / 39,0 ^{B_{C_{D_B}}}
Ainitial - erneut po- liert	ΔE_{ab}	2,04 / 2,79 / 4,92 ^{B_B}	1,63 / 2,11 / 5,79 ^{B_B}	4,76 / 7,32 / 8,40 ^{D_B}	5,69 / 7,12 / 9,27 ^{D_E}	1,48 / 1,67 / 2,24 ^{A_B}	4,17 / 6,36 / 6,90 ^{C_B}	5,59 / 6,72 / 9,68 ^{C_{D_E}}
	Ra	-0,016 / 0,000 / 0,016 ^{A_{B_a}}	-0,024 / -0,002 / 0,014 ^{A_a}	-0,058 / 0,008 / 0,066 ^{A_{B_{C_a}}}	-0,008 / -0,003 / 0,012 ^{A_{A_a}}	0,000 / 0,014 / 0,030 ^{B_{C_a}}	-0,008 / 0,005 / 0,012 ^{A_{B_a}}	-0,001 / 0,010 / 0,029 ^{B_{C_a}}
Averfärbt - erneut po- liert	FOE	-15,6 / -12,7 / -7,8 ^{A_a}	-7,8 / -5,1 / 0,5 ^{C_E}	-1,68 / -13,4 / -6,9 ^{A_a}	-10,9 / -8,4 / -4,9 ^{B_a}	-11,6 / -2,3 / 6,2 ^{C_a}	-11,0 / -4,7 / 0,6 ^{B_{C_a}}	-11,7 / 2,4 / 12,1 ^{C_a}
	ΔE_{ab}	0,53 / 1,28 / 1,49 ^{B_a}	0,93 / 1,14 / 1,39 ^{B_a}	1,52 / 1,64 / 1,87 ^{D_a}	1,39 / 1,50 / 1,82 ^{C_{D_a}}	0,29 / 0,51 / 1,03 ^{A_a}	1,24 / 1,54 / 1,74 ^{B_{C_a}}	1,48 / 1,54 / 1,59 ^{C_a}
Averfärbt - erneut po- liert	Ra	0,017 / 0,063 / 0,190 ^{B_B}	0,007 / 0,035 / 0,325 ^{B_B}	-0,069 / -0,004 / 0,063 ^{A_a}	-0,007 / 0,007 / 0,023 ^{A_B}	0,051 / 0,066 / 0,114 ^{B_{B_E}}	-0,014 / 0,001 / 0,054 ^{A_a}	-0,017 / 0,003 / 0,037 ^{A_a}
	FOE	28,9 / 33,8 / 39,8 ^{B_E}	29,6 / 34,5 / 37,4 ^{B_E}	33,4 / 38,8 / 40,9 ^{C_E}	31,9 / 35,7 / 38,9 ^{B_E}	26,5 / 33,3 / 43,0 ^{B_B}	27,0 / 29,4 / 32,2 ^{A_E}	23,1 / 29,2 / 34,0 ^{A_B}
ΔE_{ab}	2,08 / 2,97 / 4,96 ^{B_B}	2,15 / 2,69 / 6,49 ^{B_B}	4,53 / 6,73 / 7,88 ^{C_B}	4,58 / 6,07 / 7,91 ^{C_B}	1,41 / 1,73 / 2,31 ^{A_B}	4,68 / 7,04 / 7,59 ^{C_E}	4,19 / 5,38 / 8,37 ^{C_B}	

Tabelle 9 - Deskriptive Statistik der in Karottensaft gelagerten Gruppen

*A, B, C, D, E, F: unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede eines Parameters zwischen den Materialien innerhalb der Gruppe des Färbemediums Karottensaft und innerhalb eines Politurzustandes. Daher ist die Kennzeichnung waagrecht (zeilenweise) zu verstehen.

*a, b, c, d, e, f: unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den unterschiedlichen Politurzuständen innerhalb eines Materials und innerhalb der Gruppe des Färbemediums Karottensaft. Daher ist die Kennzeichnung senkrecht (spaltenweise) zu verstehen.

Unterschiede zwischen den unterschiedlichen Politurzuständen innerhalb eines Materials und innerhalb des Färbemediums Karottensaft

IPS e.max CAD zeigte im Vergleich zu den übrigen in dieser Dissertation geprüften Materialien initial die niedrigste Rauigkeit und lag mit Signum composite im gleichen Wertebereich ($p=0,226$). Signum composite lag ebenfalls im gleichen Wertebereich mit in:joy ($p=0,151$). Die nächste höhere Rauigkeit zeigte SR Nexco und unterschied sich damit von den übrigen getesteten Materialien ($p\leq 0,049$). Es folgte die homogene Gruppe aus Ceramage und dialog Vario ($p=0,821$), die nur von Gradia plus mit der höchsten Rauigkeit übertroffen wurde ($p<0,001$).

Initial zeigte IPS e.max CAD die geringste freien Oberflächenenergie und bildete damit sowohl mit dialog Vario und Signum composite ($p=0,173-0,449$) eine homogene Gruppe als auch mit in:joy und SR Nexco ($p=0,053-0,130$) und mit Gradia plus und SR Nexco ($p=0,053-0,112$). Ceramage verzeichnete die höchste Oberflächenenergie ($p\leq 0,031$).

Nach 14-tägiger Lagerung in Karottensaft zeigte in:joy die geringste Rauigkeit und lag mit IPS e.max CAD im gleichen Wertebereich ($p=0,821$). IPS e.max CAD lag ebenfalls mit SR Nexco im gleichen Wertebereich ($p=0,053$). Es folgte die homogene Gruppe mit Ceramage, dialog Vario und Gradia plus ($p=0,082-0,880$) und mit den höchsten Rauigkeiten die Gruppe mit Ceramage, dialog Vario und Signum composite ($p=0,096-0,545$).

Die geringste Oberflächenenergie verzeichnete IPS e.max CAD und bildete mit Ceramage, dialog Vario und SR Nexco eine homogene Gruppe ($p=0,173-0,970$), gefolgt von der homogenen Gruppe mit Ceramage, dialog Vario, Signum composite und SR Nexco ($p=0,130-0,970$). In:joy zeigte höhere Werte als die bisher genannten Materialien ($p\leq 0,031$) und wurde nur von Gradia plus mit den höchsten Werten übertroffen ($p\leq 0,025$).

Nach erneuter Politur verzeichnete in:joy die geringste Rauigkeit und lag mit IPS e.max CAD im gleichen Wertebereich ($p=0,667$), gefolgt von der Gruppe mit Signum composite und SR Nexco ($p=0,174$). SR Nexco lag außerdem auch mit Ceramage und dialog Vario in einem Wertebereich ($p=0,059-0,496$). Die höchste Rauigkeit wies Gradia plus auf ($p<0,001$).

Die geringste Oberflächenenergie zeigte Gradia Plus ($p<0,001$), gefolgt von dialog Vario, in:joy, Ceramage und Signum composite, die im gleichen Wertebereich lagen ($p=0,257-0,677$). Signum composite bildete ebenfalls mit IPS e.max CAD eine homogene Gruppe ($p=0,173$). Die höchsten Werte verzeichnete die homogene Gruppe mit IPS e.max CAD und SR Nexco ($p=0,791$).

Die geringste Differenz zwischen initialer Rauigkeit und nach Verfärbung in Karottensaft zeigte Gradia plus und lag mit in:joy und SR Nexco im gleichen Wertebereich ($p=0,059-0,450$). Es folgte die homogene Gruppe mit in:joy, SR Nexco und IPS e.max CAD ($p=0,131-0,597$) vor der Gruppe mit dialog Vario und Ceramage ($p=0,174$). Die höchste Rauigkeit zeigte Signum composite und lag ebenfalls mit Ceramage in einem Wertebereich ($p=0,326$).

Die geringste Oberflächenenergie zeigte Ceramage und lag mit SR Nexco in einem Wertebereich ($p=0,096$), gefolgt von der Gruppe mit Gradia plus, SR Nexco und IPS e.max CAD ($p=0,069-0,130$). IPS e.max CAD lag darüber hinaus im gleichen Wertebereich mit in:joy ($p=0,131$) und im gleichen Wertebereich mit dialog Vario und Signum composite ($p=0,173-0,326$), die die höchsten Werte verzeichneten.

Die geringste Farbänderung zeigte Signum composite ($p\leq 0,031$), gefolgt von Ceramage oder dialog Vario, die im gleichen Wertebereich lagen ($p=0,070$). Es folgt die homogene Gruppe mit SR Nexco und IPS e.max CAD ($p=0,151$), deren Werte nur von der Gruppe mit IPS e.max CAD, Gradia plus und in:joy ($p=0,450-0,821$) übertroffen wurden.

In der Gruppe der Differenzwerte zwischen initialem und erneut poliertem Zustand zeigte die homogene Gruppe mit dialog Vario, in:joy, Ceramage, SR Nexco und Gradia plus die geringsten Rauigkeiten ($p=0,054-0,850$), gefolgt von der Gruppe mit Ceramage, SR Nexco, Gradia plus und IPS e.max CAD ($p=0,076-0,705$). Die höchsten Rauigkeiten zeigte die Gruppe mit Gradia plus, IPS e.max CAD und Signum composite ($p=0,226-0,705$).

Die geringste Differenz in der Oberflächenenergie zeigte Gradia plus, und lag damit im Wertebereich von Ceramage ($p=0,325$) gefolgt von in:joy und SR Nexco ($p=0,054$). Die höchsten

Werte zeigte SR Nexco, dialog Vario, Signum composite und IPS e.max CAD, die im gleichen Wertebereich lagen ($p=0,059-0,326$).

Den geringsten ΔE -Werte verzeichnete Signum composite ($p<0,001$), gefolgt von der Gruppe mit Ceramage und dialog Vario ($p=0,104$). Die nächste Gruppe bildeten IPS e.max CAD, SR Nexco und in:joy ($p=0,704-0,762$), gefolgt von SR Nexco, in:joy und Gradia plus, die im gleichen Wertebereich lagen und die höchsten Werte verzeichneten ($p=0,075-0,762$).

Den geringsten Rauigkeitsunterschied zwischen Verfärbung und erneuter Politur zeigte Gradia plus und lag damit im gleichen Wertebereich mit IPS e.max CAD, in:joy, SR Nexco ($p=0,174-0,999$). Die folgende homogene Gruppe bildeten dialog Vario, Signum composite und Ceramage ($p=0,082-0,545$).

Die geringste Differenz der Oberflächenenergie zeigte SR Nexco und lag damit im Wertebereich mit IPS e.max CAD ($p=0,940$). Die folgende homogene Gruppe wurde gebildet von Ceramage, dialog Vario, in:joy und Signum composite ($p=0,070-0,971$). Die größte Änderung der Oberflächenenergie zeigte Gradia plus ($p\leq 0,006$).

Den geringsten ΔE -Wert verzeichnete Signum composite ($p<0,001$), gefolgt von der Gruppe mit Ceramage und dialog Vario ($p=0,436$). Den höchsten ΔE -Werte verzeichnete SR Nexco, und lag mit IPS e.max CAD, in:joy und Gradia plus ($p=0,007-0,650$) im gleichen Wertebereich.

Unterschiede zwischen den unterschiedlichen Politurzuständen innerhalb eines Materials und innerhalb des Färbemediums Karottensaft

Ceramage zeigte die geringste Rauigkeit in der Differenz zwischen Initialzustand und erneuter Politur ($p<0,001$), gefolgt von der homogenen Gruppe aus der Differenz zwischen Verfärbung und erneuter Politur, Initialzustand und Verfärbung, dem Initialzustand und nach erneuter Politur ($p=0,199-0,940$). Den größten Wert verzeichnete der verfärbte Zustand ($p\leq 0,002$).

Die Oberflächenenergie von Ceramage unterschied sich in allen Politurzuständen jeweils voneinander, beginnend mit dem geringsten Wert in der Differenz zwischen initialem und erneut poliertem Zustand ($p<0,001$), gefolgt von der Differenz zwischen Initialwert und Verfärbung ($p<0,001$), der Differenz zwischen Verfärbung und erneuter Politur ($p\leq 0,003$), dem Wert nach erneuter Politur ($p\leq 0,003$), dem Initialwert ($p<0,001$) und dem höchsten Wert nach Verfärbung ($p<0,001$).

Ceramage zeigte den geringsten ΔE -Wert bei der Differenz zwischen initialem und erneut poliertem Zustand ($p < 0,001$), die Differenzen zwischen Initialzustand und Verfärbung bzw. Verfärbung und erneuter Politur folgen als homogene Gruppe ($p = 0,705$).

Dialog Vario verzeichnete die geringste Rauigkeit beim Differenzwert zwischen Initialzustand und erneuter Politur ($p < 0,001$), gefolgt von der Differenz zwischen initialem und verfärbtem Zustand, die im gleichen Wertebereich mit der Differenz zwischen Verfärbung und erneuter Politur lag ($p \geq 0,999$). Die Rauigkeit nach erneuter Politur sowie im Initialzustand lagen ebenfalls im gleichen Wertebereich ($p = 0,734$), und wurde nur von der Rauigkeit nach Verfärbung übertroffen ($p \leq 0,004$).

Die Oberflächenenergie von dialog Vario unterschied sich in allen Politurzuständen jeweils voneinander, beginnend mit dem geringsten Wert in der Differenz zwischen initialem und erneut poliertem Zustand ($p < 0,001$), gefolgt von der Differenz zwischen Initialwert und Verfärbung ($p \leq 0,002$), der Differenz zwischen Verfärbung und erneuter Politur ($p \leq 0,004$), dem Wert nach erneuter Politur ($p \leq 0,004$), dem Initialwert ($p < 0,001$) und dem höchsten Wert nach Verfärbung ($p < 0,001$).

Dialog Vario zeigte den geringsten ΔE -Werte bei der Differenz zwischen initialem und erneut poliertem Zustand ($p < 0,001$), die Differenzen zwischen Initialzustand und Verfärbung bzw. Verfärbung und erneuter Politur folgten als homogene Gruppe ($p = 0,059$).

Gradia plus zeigte beim Vergleich der Rauigkeiten die geringsten in der homogenen Gruppe bestehend aus der drei unterschiedlichen Differenzen ($p = 0,199-0,571$), während die anderen drei Werte nach Verfärbung, initial und nach erneuter Politur ebenfalls im gleichen Wertebereich ($p = 0,209-0,970$) lagen.

Die Oberflächenenergie von Gradia plus unterschied sich in allen Politurzuständen jeweils voneinander, beginnend mit dem geringsten Wert in der Differenz zwischen initialem und erneut poliertem Zustand ($p < 0,001$), gefolgt vom Initialwert ($p < 0,001$), der Differenz zwischen Initialwert und Verfärbung ($p < 0,001$), dem Wert nach erneuter Politur ($p \leq 0,009$), der Differenz zwischen Verfärbung und erneuter Politur ($p \leq 0,009$) und dem höchsten Wert nach Verfärbung ($p < 0,001$).

Gradia plus zeigte den geringsten ΔE -Werte bei der Differenz zwischen initialem und erneut poliertem Zustand ($p < 0,001$), die Differenzen zwischen Initialzustand und Verfärbung bzw. Verfärbung und erneuter Politur lagen im gleichen Wertebereich ($p = 0,326$).

In:joy verzeichnete die geringste Rauigkeit in der Differenz zwischen initialem und erneut poliertem Zustand und lag damit im gleichen Wertebereich mit der Differenz zwischen initialem Zustand und nach Verfärbung ($p=0,053$), wobei die Differenz zwischen initialem Zustand und Verfärbung auch im gleichen Wertebereich mit dem Zustand zwischen Verfärbung und erneuter Politur lag ($p=0,545$). Die Rauigkeiten der übrigen drei Zustände nach erneuter Politur, initial und nach Verfärbung bildeten eine homogene Gruppe und verzeichneten die höchsten Werte ($p=0,082-0,173$).

Die Oberflächenenergie von in:joy unterschied sich in allen Politurzuständen jeweils voneinander, beginnend mit dem geringsten Wert in der Differenz zwischen initialem und erneut poliertem Zustand ($p<0,001$), gefolgt von der Differenz zwischen Initialwert und Verfärbung ($p<0,001$), der Differenz zwischen Verfärbung und erneuter Politur ($p\leq 0,005$), dem Wert nach erneuter Politur ($p\leq 0,005$), dem Initialwert ($p<0,001$) und dem höchsten Wert nach Verfärbung ($p<0,001$).

In:joy zeigte drei sich voneinander unterscheidende ΔE -Werte, der geringste lag zwischen initialem und erneut poliertem Zustand ($p<0,001$). Es folgte die Differenz zwischen Verfärbung und erneuter Politur ($p\leq 0,010$) und der höchste ΔE -Wert zwischen initialem und verfärbtem Zustand ($p\leq 0,010$).

Signum composite zeigte initial die geringste Rauigkeit in der Differenz zwischen initialem und erneut poliertem Wert ($p<0,001$), gefolgt von der homogenen Gruppe aus Initialzustand und der Differenz zwischen Verfärbung und erneuter Politur ($p=0,096$). Die Differenz zwischen Verfärbung und erneuter Politur lag ebenfalls mit den Werten nach erneuerter Politur und mit der Differenz zwischen initialem und verfärbtem Zustand im gleichen Wertebereich ($p=0,096-0,496$). Die höchste Rauigkeit zeigte Signum composite nach der Verfärbung ($p<0,001$).

Die Oberflächenenergie von Signum composite zeigte den geringsten Wert bei der Differenz von Initialwert und nach erneuter Politur ($p<0,001$), gefolgt von den beiden übrigen Differenzen, die im gleichen Wertebereich lagen ($p=0,070$). Es folgte die Oberflächenenergie nach erneuter Politur ($p\leq 0,037$) und die initiale Oberflächenenergie ($p\leq 0,037$), die nur vom höchsten Wert in verfärbtem Zustand übertroffen wurde ($p<0,001$).

Signum composite zeigte den geringsten ΔE -Werte bei der Differenz zwischen initialem und erneut poliertem Zustand ($p<0,001$), die Differenzen zwischen Initialzustand und Verfärbung bzw. Verfärbung und erneuter Politur lagen im gleichen Wertebereich ($p=0,705$).

SR Nexco zeigte die geringsten Rauigkeiten bei den Differenzwerten, die alle im gleichen Wertebereich lagen ($p=0,406-0,520$). Die Rauigkeiten im Initialwert, nach Verfärbung und nach erneuter Politur bildeten eine homogene Gruppe ($p=0,112-0,705$).

Die Oberflächenenergie von SR Nexco unterschied sich in allen Politurzuständen jeweils voneinander, beginnend mit dem geringsten Wert in der Differenz zwischen initialem und erneut poliertem Zustand ($p<0,001$), gefolgt von der Differenz zwischen Initialwert und Verfärbung ($p<0,001$), der Differenz zwischen Verfärbung und erneuter Politur ($p<0,001$), dem Wert nach erneuter Politur ($p<0,001$), dem Initialwert ($p<0,001$) und dem höchsten Wert nach Verfärbung ($p<0,001$).

SR Nexco zeigte drei sich voneinander unterscheidende ΔE -Werte, der geringste lag zwischen initialem und erneut poliertem Zustand ($p<0,001$). Es folgte die Differenz zwischen initialem und verfärbtem Zustand ($p\leq 0,034$) und der höchste zwischen verfärbtem und erneut poliertem Zustand ($p\leq 0,034$).

IPS e.max CAD zeigte die geringsten Rauigkeiten bei den Differenzwerten, die alle im gleichen Wertebereich lagen ($p=0,199-0,762$). Die Rauigkeit im Initialzustand unterschied sich von allen übrigen Zuständen ($p<0,001$) und wurde nur von der homogenen Gruppe mit den Rauigkeiten nach erneuter Politur und nach Verfärbung übertroffen ($p=0,650$).

Die Oberflächenenergie von IPS e.max CAD zeigte den geringsten Wert bei der Differenz von Initialwert und nach erneuter Politur ($p<0,001$), gefolgt von den beiden übrigen Differenzen, die im gleichen Wertebereich lagen ($p=0,290$). Es folgte die initiale Oberflächenenergie, die mit der Oberflächenenergie nach erneuter Politur im gleichen Wertebereich lag ($p=0,257$) und nur vom höchsten Wert in verfärbtem Zustand übertroffen wurde ($p<0,001$).

IPS e.max CAD zeigte drei sich voneinander unterscheidende ΔE -Werte, der geringste lag zwischen initialem und erneut poliertem Zustand ($p<0,001$). Es folgte die Differenz zwischen Verfärbung und erneuter Politur ($p\leq 0,034$) und der höchste ΔE -Wert zwischen initialem und verfärbtem Zustand ($p\leq 0,034$).

Deskriptive Statistik mit Minimum / Median / Maximum der in Rote-Bete-Saft gelagerten Gruppen*

Material	Ceramage	dialog Vario	Gradia plus	in:joy	Signum compo-site	SR Nexco	IPS emax CAD	
initial	Ra	0,067 / 0,077 / 0,084 ^{Ce}	0,070 / 0,076 / 0,092 ^{Ce}	0,113 / 0,139 / 0,154 ^{Df}	0,053 / 0,058 / 0,068 ^{Bc}	0,047 / 0,067 / 0,075 ^{Bc}	0,072 / 0,079 / 0,093 ^{Ce}	0,040 / 0,052 / 0,066 ^{Ae}
	FOE	31,6 / 35,8 / 38,7 ^{A,Bb,c}	32,6 / 34,2 / 37,5 ^{Ae}	31,5 / 33,6 / 37,7 ^{A,b}	39,7 / 44,4 / 47,9 ^{Ce}	32,7 / 37,1 / 40,6 ^{Bc}	38,4 / 43,4 / 44,9 ^{Ce}	48,7 / 55,8 / 59,4 ^{Dc}
verfärbt	Ra	0,067 / 0,088 / 0,157 ^{A,B,c}	0,084 / 0,113 / 0,158 ^{Cd}	0,113 / 0,136 / 0,189 ^{Df}	0,067 / 0,076 / 0,113 ^{A,B,d}	0,068 / 0,102 / 0,117 ^{B,d}	0,104 / 0,122 / 0,168 ^{C,D,e}	0,059 / 0,084 / 0,105 ^{Ae}
	FOE	72,1 / 73,3 / 75,4 ^{A,B,e}	72,9 / 73,5 / 74,0 ^{A,f}	72,4 / 74,1 / 74,7 ^{A,B,e}	72,8 / 74,1 / 74,5 ^{B,f}	74,2 / 75,1 / 75,8 ^{Ce}	72,7 / 73,4 / 75,2 ^{A,B,d}	73,4 / 74,9 / 75,8 ^{Cf}
erneut po- liert	Ra	0,068 / 0,074 / 0,080 ^{Bc}	0,073 / 0,078 / 0,089 ^{Bc}	0,126 / 0,148 / 0,156 ^{Df}	0,053 / 0,063 / 0,076 ^{Ae}	0,054 / 0,062 / 0,074 ^{Ae}	0,079 / 0,091 / 0,129 ^{Cd}	0,053 / 0,057 / 0,068 ^{A,d}
	FOE	36,7 / 38,2 / 44,6 ^{C,d}	26,8 / 29,7 / 33,8 ^{A,b}	32,5 / 35,4 / 37,4 ^{Dc}	37,8 / 41,2 / 44,5 ^{C,D,d}	39,5 / 42,0 / 45,5 ^{D,E,d}	38,8 / 43,2 / 46,3 ^{E,c}	44,9 / 51,3 / 56,7 ^{F,d}
Ainitial-ver- färbt	Ra	-0,015 / 0,008 / 0,079 ^{A,B,b}	0,009 / 0,034 / 0,086 ^{C,D,b}	-0,037 / 0,009 / 0,051 ^{A,a}	0,006 / 0,012 / 0,053 ^{A,B,C,b}	0,002 / 0,035 / 0,059 ^{A,C,D,b}	0,017 / 0,046 / 0,088 ^{D,b}	0,002 / 0,027 / 0,058 ^{A,B,C,b}
	FOE	35,0 / 37,2 / 43,2 ^{C,D,e,d}	35,9 / 39,7 / 40,8 ^{C,D,d}	36,1 / 40,5 / 43,1 ^{D,d}	24,9 / 29,9 / 34,4 ^{B,b}	34,5 / 38,0 / 41,5 ^{C,c}	28,3 / 30,3 / 35,7 ^{B,b}	14,4 / 18,5 / 26,7 ^{A,b}
Ainitial - erneut po- liert	AE_{ab}	5,08 / 5,66 / 12,61 ^{D,E,c}	4,48 / 5,16 / 5,56 ^{D,C,c}	4,57 / 4,84 / 5,06 ^{B,c}	5,38 / 5,79 / 5,93 ^{D,b}	4,18 / 4,56 / 5,15 ^{A,c}	4,09 / 10,55 / 10,73 ^{B,b}	4,72 / 4,96 / 5,46 ^{C,b}
	Ra	-0,007 / -0,004 / 0,003 ^{A,a}	-0,015 / 0,004 / 0,012 ^{B,C,a}	-0,016 / 0,008 / 0,014 ^{B,a}	-0,007 / 0,002 / 0,015 ^{A,B,a}	-0,013 / 0,004 / 0,012 ^{A,B,a}	-0,004 / 0,012 / 0,035 ^{C,a}	-0,008 / 0,005 / 0,021 ^{B,a}
Averfärbt - erneut po- liert	FOE	-0,4 / 4,5 / 7,1 ^{D,E,a}	-6,7 / -5,3 / -0,1 ^{A,a}	-2,0 / 2,4 / 5,2 ^{C,D,a}	-8,3 / -3,9 / 4,8 ^{A,B,a}	-1,1 / 5,3 / 9,8 ^{E,a}	-4,4 / 0,2 / 4,6 ^{B,C,a}	-14,5 / -3,2 / 7,9 ^{A,a}
	AE_{ab}	0,93 / 1,10 / 2,03 ^{B,C,a}	0,48 / 0,53 / 0,81 ^{A,a}	1,02 / 1,15 / 1,41 ^{B,a}	0,46 / 0,54 / 0,75 ^{A,a}	1,48 / 1,56 / 1,88 ^{C,a}	1,13 / 2,03 / 2,31 ^{D,a}	1,97 / 2,34 / 2,82 ^{E,a}
Averfärbt - erneut po- liert	Ra	-0,010 / 0,011 / 0,084 ^{A,B,b}	0,002 / 0,032 / 0,081 ^{B,b}	-0,036 / -0,001 / 0,042 ^{A,a}	-0,004 / 0,013 / 0,060 ^{A,B,b}	-0,004 / 0,032 / 0,059 ^{B,b}	0,007 / 0,029 / 0,074 ^{B,b}	-0,003 / 0,020 / 0,052 ^{A,B,a,b}
	FOE	28,1 / 34,9 / 38,4 ^{C,b}	39,8 / 43,9 / 46,6 ^{E,c}	35,1 / 38,5 / 42,2 ^{D,d}	29,6 / 33,0 / 36,2 ^{C,c}	29,7 / 33,0 / 36,3 ^{C,b}	26,6 / 31,1 / 34,3 ^{B,b}	18,8 / 23,9 / 28,9 ^{A,c}
AE_{ab}	4,54 / 4,91 / 11,86 ^{C,D,E,b}	4,46 / 4,86 / 5,07 ^{C,b}	4,15 / 4,31 / 5,10 ^{B,b}	5,59 / 5,85 / 6,35 ^{D,b}	3,86 / 4,16 / 4,38 ^{A,b}	10,24 / 10,54 / 12,04 ^{E,b}	4,58 / 4,79 / 5,26 ^{C,b}	

Tabelle 10 - Deskriptive Statistik der in Rote-Bete-Saft gelagerten Gruppen

*A, B, C, D, E, F: unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede eines Parameters zwischen den Materialien innerhalb der Gruppe des Färbemediums Rote-Bete-Saft und innerhalb eines Politurzustandes. Daher ist die Kennzeichnung waagrecht (zeilenweise) zu verstehen.

*a, b, c, d, e, f: unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den unterschiedlichen Politurzuständen innerhalb eines Materials und innerhalb der Gruppe des Färbemediums Rote-Bete-Saft. Daher ist die Kennzeichnung senkrecht (spaltenweise) zu verstehen.

Unterschiede zwischen den unterschiedlichen Verblendkompositen innerhalb des Färbemediums Rote-Bete-Saft

IPS e.max CAD zeigte im Vergleich zu den übrigen in dieser Dissertation geprüften Materialien die niedrigsten initialen Rauigkeiten ($p \leq 0,001-0,019$). In:joy und Signum composite lagen im gleichen Wertebereich ($p=0,256$), und zeigten ebenfalls niedrigere Rauigkeiten im Vergleich zu den restlichen Materialien jedoch höhere Werte als IPS e.max CAD ($p=0,015-0,019$). Ceramage, dialog Vario und SR Nexco bildeten die folgende homogene Gruppe ($p=0,104-0,650$). Gradia plus zeigte initial die höchsten Rauigkeiten im Vergleich zu allen anderen geprüften Materialien ($p < 0,001$).

Im Initialzustand zeigte Gradia plus die geringste freie Oberflächenenergie und lag im gleichen Wertebereich mit dialog Vario und Ceramage ($p=0,096-0,520$), gefolgt von der homogenen Gruppe mit Ceramage und Signum composite ($p=0,173$). SR Nexco und in:joy lagen ebenfalls im gleichen Wertebereich ($p=0,257$) und wurden nur von IPS e.max CAD mit der höchsten Rauigkeit übertroffen ($p < 0,001$).

Nach 14-tägiger Lagerung in Rote-Bete-Saft zeigte IPS e.max CAD die geringste Rauigkeit und lag mit in:joy und Ceramage im gleichen Wertebereich ($p=0,226-0,940$). In:joy und Ceramage lagen darüber hinaus im gleichen Wertebereich mit Signum composite ($p=0,069-0,545$), gefolgt von der homogenen Gruppe mit dialog Vario und SR Nexco ($p=0,450$). Die höchste Rauigkeit verzeichnete Gradia plus und lag mit SR Nexco im gleichen Wertebereich ($p=0,112$).

In verfärbtem Zustand zeigte die homogene Gruppe mit Ceramage, dialog Vario, SR Nexco und Gradia plus die geringsten Werte ($p=0,149-0,791$), gefolgt von der Gruppe mit Ceramage, SR Nexco, Gradia plus und in:joy ($p=0,095-0,791$). Den höchsten Wert zeigte Signum composite und lag mit IPS e.max CAD in einem Wertebereich ($p=0,649$).

Nach erneuter Politur verzeichnete IPS e.max CAD die geringste Rauigkeit und lag mit in:joy und Signum composite im gleichen Wertebereich ($p=0,273-0,970$), gefolgt von der homogenen Gruppe mit Ceramage und dialog Vario ($p=0,054$). SR Nexco zeigte eine höhere Rauigkeit als die bisher genannten Materialien ($p\leq 0,002$) und wurde nur von Gradia plus mit der höchsten Rauigkeit übertroffen ($p<0,001$).

Nach erneuter Politur verzeichnete dialog Vario die geringste freie Oberflächenenergie ($p<0,001$), gefolgt vom nächst höheren Wert bei Gradia plus, das sich ebenfalls von allen anderen Materialien unterschied ($p<0,001$). Es folgt die homogene Gruppe mit Ceramage und in:joy ($p=0,140$), die Gruppe mit in:joy und Signum composite ($p=0,151$) sowie die Gruppe mit Signum composite und SR Nexco ($p=0,325$). IPS e.max CAD zeigte die höchste Oberflächenenergie ($p<0,001$).

Bei Betrachtung der Differenz zwischen initialer Rauigkeit und nach Verfärbung verzeichnete Gradia plus den niedrigsten Wert und lag mit Ceramage, in:joy und IPS e.max CAD im gleichen Wertebereich ($p=0,089-0,545$). Es folgten die homogenen Gruppen mit Ceramage, in:joy, IPS e.max CAD und Signum composite ($p=0,151-0,450$) und mit in:joy, IPS e.max CAD, Signum composite und dialog Vario ($p=0,070-0,545$). Die höchsten Werte zeigte SR Nexco und lag mit dialog Vario im gleichen Wertebereich ($p=0,496$).

IPS e.max CAD zeigte bezüglich der Differenz zwischen initialem und verfärbtem Zustand die geringste Oberflächenenergie ($p<0,001$), gefolgt von der homogenen Gruppe mit in:joy und SR Nexco ($p=0,520$) und der Gruppe bestehend aus Signum composite, Ceramage und dialog Vario ($p=0,326-0,880$). Die höchsten Werte verzeichnete Gradia plus und lag damit mit Ceramage und dialog Vario im gleichen Wertebereich ($p=0,096-0,364$).

Zwischen initialem und verfärbtem Zustand zeigte Signum composite die geringste Farbänderung ($p<0,001$), gefolgt von Gradia plus und dialog Vario, die im gleichen Wertebereich lagen ($p=0,054$). Dialog Vario bildete ebenfalls mit IPS e.max CAD eine homogene Gruppe ($p=0,199$), gefolgt von der Gruppe mit in:joy und Ceramage ($p=0,705$). Ceramage lag ebenfalls mit SR Nexco, das den höchsten ΔE -Werte zeigt, im gleichen Wertebereich ($p=0,326$).

Die geringste Differenz der Rauigkeit zwischen initialem und erneut poliertem Zustand zeigte Ceramage und lag im gleichen Wertebereich mit in:joy und Signum composite ($p=0,112-0,520$), gefolgt von Signum composite, dialog Vario, in:joy, Gradia und IPS e.max CAD, die eine homogene Gruppe bildeten ($p=0,131-0,850$). Den größten Wert verzeichnete SR Nexco

und lag mit dialog Vario, Gradia plus und IPS e.max CAD im gleichen Wertebereich ($p=0,059-0,850$).

Die geringste Oberflächenenergiedifferenz zwischen initialem und erneut poliertem Zustand zeigte dialog Vario und lag mit IPS e.max CAD und in:joy in einem Wertebereich ($p=0,540-0,821$), gefolgt von der homogenen Gruppe mit in:joy und SR Nexco ($p=0,059$). SR Nexco lag ebenfalls mit Gradia plus in einem Wertebereich ($p=0,212$), welches seinerseits wieder mit Ceramage im gleichen Wertebereich lag ($p=0,089$). Ceramage wiederum lag mit Signum composite, das die höchste Differenz verzeichnete, im gleichen Wertebereich ($p=0,427$).

Im Wertebereich mit den geringsten ΔE -Werten lagen in:joy und dialog Vario ($p=0,939$), gefolgt vom Wertebereich mit Gradia plus und Ceramage ($p=0,791$) und Ceramage und Signum composite, die ebenfalls eine homogene Gruppe bildeten ($p=0,096$). SR Nexco lag über den bereits genannten Materialien ($p\leq 0,006$), IPS e.max CAD zeigte die höchsten ΔE -Werte ($p\leq 0,006$).

Die geringste Differenz der Rauigkeit zwischen gefärbtem und erneut poliertem Zustand verzeichnete Gradia plus und bildete mit in:joy, Ceramage und IPS e.max CAD eine homogene Gruppe ($p=0,096-0,880$). Die folgende Gruppe beinhaltete in:joy, Ceramage, IPS e.max CAD, SR Nexco, Signum composite und dialog Vario ($p=0,059-0,880$).

IPS e.max CAD verzeichnete die geringste Differenz der Oberflächenenergie zwischen verfärbtem und erneut poliertem Zustand ($p<0,001$), gefolgt vom nächst höheren Wert von SR Nexco, der sich ebenfalls von den übrigen unterschied ($p\leq 0,031$). Es folgt die homogene Gruppe mit Signum composite, in:joy und Ceramage ($p=0,131-0,820$) und Gradia plus, das eine höhere Differenz zeigte als die bisher genannten Materialien ($p\leq 0,003$) und nur vom höchsten Wert von dialog Vario übertroffen wurde ($p\leq 0,002$).

Den geringsten ΔE -Wert zwischen Verfärbung und erneuter Politur verzeichnete Signum composite ($p\leq 0,019$), gefolgt von Gradia plus, das größere Werte zeigte als Signum composite und geringere als die übrigen Materialien ($p\leq 0,019$). Im nächst höheren gemeinsamen Wertebereich lagen IPS e.max CAD, dialog Vario und Ceramage ($p=0,112-0,406$), gefolgt von der homogenen Gruppe mit in:joy und Ceramage ($p=0,131$). Ceramage lag außerdem mit SR Nexco, das den höchsten ΔE -Werte verzeichnete, im gleichen Wertebereich ($p=0,082$).

Unterschiede zwischen den unterschiedlichen Politurzuständen innerhalb eines Materials und innerhalb des Färbemediums Rote-Bete-Saft

Ceramage zeigte die geringste Rauigkeit in der Differenz zwischen initialem und erneut poliertem Zustand ($p \leq 0,008$), gefolgt von der Differenz zwischen Initialzustand und Verfärbung sowie Verfärbung und erneuter Politur, die im gleichen Wertebereich lagen ($p = 0,705$). Die größte Rauigkeit zeigte Ceramage nach Verfärbung, wobei die initiale Rauigkeit und die Rauigkeit nach erneuter Politur im gleichen Wertebereich lagen ($p = 0,059 - 0,325$).

Die geringste Oberflächenenergie zeigte Ceramage in der Differenz zwischen initialem und erneut poliertem Zustand ($p < 0,001$), gefolgt von der Differenz zwischen Verfärbung und erneuter Politur, die mit dem Initialwert im gleichen Wertebereich lag ($p = 0,406$). Die Oberflächenenergie im Initialzustand lag ebenfalls mit der Differenz zwischen initialem und verfärbtem Zustand im gleichen Wertebereich ($p = 0,075$), diese wiederum bildete eine homogene Gruppe mit der Oberflächenenergie nach erneuter Politur ($p = 0,273$). Die höchste Oberflächenenergie verzeichnete Ceramage nach Verfärbung ($p < 0,001$).

Den kleinsten ΔE -Wert zeigte Ceramage bei der Differenz zwischen initialem und erneut poliertem Zustand ($p < 0,001$), gefolgt von der Differenz zwischen Verfärbung und erneuter Politur, die sich von den anderen beiden Werten unterschied ($p \leq 0,028$) und nur durch den höchsten Wert zwischen initialem und verfärbtem Zustand übertroffen wurde ($p \leq 0,028$).

Die geringste Rauigkeit zeigte dialog Vario in der Differenz zwischen initialem und erneut poliertem Zustand ($p < 0,001$), gefolgt von der homogenen Gruppe, die die Differenzen zwischen verfärbtem und erneut poliertem sowie zwischen initialem und verfärbtem Zustand einschloss ($p = 0,579$). Es folgte der gemeinsame Wertebereich, in dem die Rauigkeiten initial und nach erneuter Politur lagen ($p = 0,082$). Nach Verfärbung zeigte dialog Vario die höchste Rauigkeit ($p < 0,001$).

Die Oberflächenenergie von dialog Vario unterschied sich in jedem Zustand jeweils von den übrigen Werkstoffen und wird hier in aufsteigender Reihenfolge genannt. Den kleinsten Wert zeigte die Differenz zwischen initialem und erneut poliertem Zustand ($p < 0,001$), gefolgt von der Oberflächenenergie nach erneuter Politur ($p < 0,001$), dem Initialzustand ($p < 0,001$), der Differenz zwischen initialem und verfärbtem Zustand ($p < 0,001$), der Differenz zwischen Verfärbung und erneuter Politur ($p < 0,001$) und dem höchsten Wert nach Verfärbung ($p < 0,001$).

Den kleinsten ΔE -Wert zeigte dialog Vario bei der Differenz zwischen initialem und erneut poliertem Zustand ($p < 0,001$), gefolgt vom der Differenz zwischen Verfärbung und erneuter Politur, die sich von den anderen beiden Werten unterschied ($p \leq 0,041$) und nur durch den höchsten Wert zwischen initialem und verfärbtem Zustand übertroffen wurde ($p \leq 0,041$).

Die Rauigkeiten von Gradia plus teilten sich in zwei homogene Gruppen. Die geringen Rauigkeiten zeigten die drei Differenzwerte ($p = 0,597-0,765$), die höheren Rauigkeiten zeigte die Gruppe mit dem Initialwert, nach Verfärbung sowie nach erneuter Politur ($p = 0,272-0,999$).

Gradia plus zeigte die geringste Oberflächenenergie in der Differenz zwischen initialem und erneut poliertem Zustand ($p < 0,001$), gefolgt von den nächst höheren Werten initial ($p \leq 0,028$) und nach erneuter Politur ($p \leq 0,028$), die sich jeweils von allen weiteren unterschieden. Die Differenzen zwischen Verfärbung und erneuter Politur sowie zwischen dem initialen und verfärbten Zustand lagen im gleichen Wertebereich ($p = 0,096$) und wurden nur von der höchsten Oberflächenenergie nach Verfärbung ($p < 0,001$) übertroffen.

Den kleinsten ΔE -Werte zeigte Gradia plus bei der Differenz zwischen initialem und erneut poliertem Zustand ($p < 0,001$), gefolgt vom der Differenz zwischen Verfärbung und erneuter Politur, die sich von den anderen beiden Werten unterschied ($p \leq 0,002$) und nur durch den höchsten Wert zwischen initialem und verfärbtem Zustand übertroffen wurde ($p \leq 0,002$).

Die geringste Rauigkeit zeigte in:joy in der Differenz zwischen initialem und erneut poliertem Zustand ($p \leq 0,034$), gefolgt von der homogenen Gruppe mit den übrigen beiden Differenzwerten ($p = 0,545$). Der Initialzustand sowie die Rauigkeit nach erneuter Politur lagen im gleichen Wertebereich ($p = 0,450$), die höchste Rauigkeit zeigte in:joy nach Verfärbung ($p \leq 0,002$).

Die Oberflächenenergie von in:joy unterschied sich in den jeweiligen Zuständen jeweils voneinander und werden in aufsteigender Reihenfolge gelistet, beginnend mit dem kleinsten Wert bei der Differenz zwischen initialem und erneut poliertem Zustand ($p < 0,001$), gefolgt von der Differenz zwischen initialem und verfärbtem Zustand ($p \leq 0,037$), der Differenz zwischen Verfärbung und erneuter Politur ($p \leq 0,037$), der Oberflächenenergie nach erneuter Politur ($p \leq 0,023$), initial ($p \leq 0,023$) und der höchste Wert nach Verfärbung ($p < 0,001$).

Den kleinsten ΔE -Werte zeigte in:joy bei der Differenz zwischen initialem und erneut poliertem Zustand ($p < 0,001$). Die Differenz zwischen Initialwert und Verfärbung und zwischen Verfärbung und erneuter Politur lagen im gleichen Wertebereich ($p = 0,226$).

Die geringste Rauigkeit zeigte Signum composite in der Differenz zwischen initialem und erneut poliertem Zustand ($p \leq 0,002$), gefolgt von der homogenen Gruppe mit den übrigen beiden Differenzwerten ($p = 0,880$). Initialzustand sowie die Rauigkeit nach erneuter Politur lagen im gleichen Wertebereich ($p = 0,970$) und wurden nur von der höchsten Rauigkeit nach Verfärbung übertroffen ($p < 0,001$).

Signum composite zeigte die geringste Oberflächenenergie in der Differenz zwischen initialem und erneut poliertem Zustand ($p < 0,001$), gefolgt von der Differenz zwischen verfärbtem und erneut poliertem Zustand ($p \leq 0,002$), die größer als erstere und kleiner als die übrigen Werte war. Es folgte die homogene Gruppe mit der initialen Oberflächenenergie und der Differenz zwischen initialem und verfärbtem Zustand ($p = 0,334$). Die Oberflächenenergie nach erneuter Politur war höher als jene in den bisher genannten Zuständen ($p < 0,001$) und wurde nur durch den höchsten Wert nach Verfärbung übertroffen ($p < 0,001$).

Den kleinsten ΔE -Werte zeigte Signum composite in der Differenz zwischen initialem und erneut poliertem Zustand ($p < 0,001$), gefolgt von der Differenz zwischen Verfärbung und erneuter Politur, die sich von den anderen beiden Werten unterschied ($p < 0,001$) und nur durch den höchsten Wert zwischen initialem und verfärbtem Zustand übertroffen wurde ($p < 0,001$).

Die geringste Rauigkeit zeigte SR Nexco in der Differenz zwischen initialem und erneut poliertem Zustand ($p \leq 0,008$), gefolgt von der homogenen Gruppe mit den übrigen beiden Differenzwerten ($p = 0,096$). Die initiale Rauigkeit war größer als die bisher genannten Werte und kleiner als jene nach erneuter Politur oder Verfärbung ($p \leq 0,005$). Die Rauigkeit nach erneuter Politur war größer als die übrigen Werte ($p \leq 0,005$) und wurde nur von der höchsten Rauigkeit nach Verfärbung übertroffen ($p < 0,001$).

SR Nexco zeigte die geringste Oberflächenenergie in der Differenz zwischen initialem und erneut poliertem Zustand ($p < 0,001$), gefolgt von der homogenen Gruppe mit den anderen beiden Differenzwerten ($p = 0,940$). Der initiale Wert lag mit der Oberflächenenergie nach erneuter Politur im gleichen Wertebereich ($p = 0,880$) und wurde nur durch den höchsten Wert nach Verfärbung übertroffen ($p < 0,001$).

Den kleinsten ΔE -Werte zeigte SR Nexco bei der Differenz zwischen initialem und erneut poliertem Zustand ($p < 0,001$). Die Differenz zwischen Initialwert und Verfärbung sowie zwischen Verfärbung und erneuter Politur lagen im gleichen Wertebereich ($p = 0,450$).

IPS e.max CAD zeigte die geringste Rauigkeit in der Differenz zwischen initialem und erneut poliertem Zustand, die mit der Differenz zwischen Verfärbung und erneuter Politur im gleichen Wertebereich lag ($p=0,064$). Letztere lag auch mit der Differenz zwischen initialer und verfärbter Rauigkeit im gleichen Wertebereich ($p=0,199$). Die Rauigkeiten im Initialzustand ($p\leq 0,016$), nach erneuter Politur ($p\leq 0,016$) sowie nach Verfärbung ($p\leq 0,002$) unterschieden sich jeweils von allen übrigen Zuständen und wurden in aufsteigender Reihenfolge genannt.

Die Oberflächenenergie von IPS e.max CAD unterschied sich in den jeweiligen Zuständen jeweils voneinander und werden in aufsteigender Reihenfolge gelistet, beginnend mit dem kleinsten Wert bei der Differenz zwischen initialem und erneut poliertem Zustand ($p<0,001$), gefolgt von der Differenz zwischen initialem und verfärbtem Zustand ($p\leq 0,016$), der Differenz zwischen Verfärbung und erneuter Politur ($p\leq 0,016$), der Oberflächenenergie nach erneuter Politur ($p\leq 0,023$), initial ($p\leq 0,023$) und der höchste Wert nach Verfärbung ($p<0,001$).

Den kleinsten ΔE -Werte zeigte IPS e.max CAD bei der Differenz zwischen initialem und erneut poliertem Zustand ($p<0,001$). Die Differenz zwischen Verfärbung und erneuter Politur sowie zwischen Initialwert und Verfärbung lagen im gleichen Wertebereich ($p=0,112$).

Deskriptive Statistik mit Minimum / Median / Maximum der in Rotwein gelagerten Gruppen *

Material	Ceramage	dialog Vario	Gradia plus	in:joy	Signum compo-site	SR Nexco	IPS e:max CAD	
initial	Ra	0,067 / 0,076 / 0,092 ^{cB}	0,069 / 0,074 / 0,093 ^{cB}	0,133 / 0,158 / 0,165 ^{b,c}	0,062 / 0,082 / 0,093 ^{cB}	0,047 / 0,062 / 0,074 ^{Bb}	0,070 / 0,080 / 0,104 ^{cB}	0,044 / 0,050 / 0,072 ^{A,c}
	FOE	35,9 / 38,9 / 42,3 ^{B,c}	33,3 / 35,9 / 39,4 ^{Ab}	41,7 / 45,0 / 49,0 ^{C,c}	35,1 / 38,7 / 46,4 ^{B,c,d}	43,2 / 45,8 / 48,1 ^{C,e}	39,1 / 44,5 / 50,2 ^{C,e}	47,5 / 53,8 / 59,9 ^{B,c}
verfärbt	Ra	0,068 / 0,080 / 0,099 ^{cD,Bb}	0,058 / 0,075 / 0,091 ^{cB}	0,121 / 0,157 / 0,174 ^{F,e}	0,062 / 0,086 / 0,097 ^{D,Eb}	0,051 / 0,061 / 0,074 ^{Bb}	0,076 / 0,092 / 0,101 ^{E,c}	0,047 / 0,054 / 0,067 ^{A,c,d}
	FOE	73,9 / 74,4 / 75,3 ^{A,d}	75,8 / 77,0 / 77,4 ^{C,e}	76,5 / 77,4 / 79,6 ^{D,d}	74,4 / 77,2 / 77,8 ^{C,D,e}	76,2 / 77,1 / 77,4 ^{C,D,f}	73,0 / 75,3 / 75,8 ^{B,f}	74,4 / 75,7 / 76,2 ^{B,d}
erneut po- liert	Ra	0,070 / 0,078 / 0,086 ^{Bb}	0,068 / 0,075 / 0,092 ^{Bb}	0,137 / 0,148 / 0,160 ^{C,e}	0,066 / 0,082 / 0,093 ^{Bb}	0,051 / 0,061 / 0,071 ^{Ab}	0,071 / 0,080 / 0,094 ^{Bb}	0,056 / 0,059 / 0,074 ^{A,d}
	FOE	36,6 / 38,3 / 40,8 ^{B,c}	35,8 / 38,1 / 54,8 ^{B,c,d}	30,4 / 33,4 / 36,0 ^{Ab}	38,1 / 41,6 / 43,7 ^{C,d}	37,2 / 41,8 / 48,6 ^{C,d}	38,4 / 41,8 / 44,6 ^{C,d}	41,8 / 52,4 / 60,9 ^{D,c}
Ainitial - verfärbt	Ra	-0,024 / 0,008 / 0,017 ^{B,Ca}	-0,019 / 0,000 / 0,007 ^{Aa}	-0,017 / 0,002 / 0,012 ^{A,BaB}	-0,005 / 0,002 / 0,017 ^{A,B,Ca}	-0,003 / 0,001 / 0,007 ^{A,Ba}	-0,003 / 0,009 / 0,027 ^{C,a}	-0,025 / 0,003 / 0,020 ^{A,Ba}
	FOE	32,1 / 36,1 / 38,3 ^{Cb}	36,4 / 41,3 / 43,3 ^{D,b}	28,4 / 32,2 / 37,9 ^{B,c}	29,8 / 38,8 / 42,1 ^{C,b,c}	28,2 / 31,2 / 33,9 ^{Bb}	24,5 / 30,6 / 36,3 ^{Bb}	15,5 / 22,1 / 27,8 ^{Ab}
Ainitial - erneut po- liert	ΔE _{ab}	4,58 / 5,50 / 9,41 ^{D,Eb}	4,48 / 5,00 / 6,02 ^{C,d}	5,87 / 6,24 / 6,49 ^{E,b}	4,83 / 5,62 / 6,59 ^{C,D,b}	3,54 / 4,02 / 4,68 ^{Bb}	2,10 / 3,66 / 4,75 ^{Ab}	3,22 / 3,66 / 5,07 ^{A,Bb}
	Ra	-0,022 / 0,003 / 0,015 ^{A,B,Ca}	-0,011 / 0,001 / 0,004 ^{Ba}	-0,021 / -0,005 / 0,005 ^{Aa}	-0,004 / 0,000 / 0,004 ^{Ba}	-0,004 / 0,000 / 0,005 ^{Ba}	-0,004 / 0,000 / 0,005 ^{Ba}	-0,030 / -0,002 / 0,021 ^{A,B,Ca}
Averfärbt - erneut po- liert	ΔE _{ab}	1,77 / 2,32 / 6,75 ^{E,F,a}	1,24 / 2,00 / 3,38 ^{D,E,a}	0,15 / 0,27 / 0,67 ^{Aa}	0,53 / 2,03 / 2,25 ^{D,a}	0,41 / 0,56 / 0,88 ^{Ba}	0,87 / 1,11 / 1,21 ^{Ca}	1,98 / 2,51 / 2,72 ^{F,a}
	Ra	-0,008 / 0,000 / 0,021 ^{A,B,Ca}	-0,022 / 0,001 / 0,006 ^{A,Ba}	-0,017 / 0,008 / 0,032 ^{B,Cb}	-0,004 / 0,002 / 0,014 ^{A,B,Ca}	-0,003 / 0,000 / 0,006 ^{A,B,Ca}	-0,015 / 0,011 / 0,027 ^{C,a}	-0,023 / -0,005 / 0,011 ^{Aa}
Averfärbt - erneut po- liert	FOE	33,3 / 36,2 / 38,7 ^{C,D,b}	22,2 / 38,7 / 40,5 ^{D,c}	40,6 / 43,9 / 47,0 ^{E,c}	30,7 / 35,9 / 39,7 ^{C,D,b}	27,6 / 34,8 / 40,1 ^{B,C,c}	30,1 / 33,5 / 36,7 ^{B,c}	14,8 / 22,5 / 34,4 ^{Ab}
	ΔE _{ab}	3,61 / 4,37 / 5,58 ^{A,Ba}	6,45 / 6,88 / 7,71 ^{D,b}	5,70 / 6,26 / 6,55 ^{C,b}	4,74 / 7,13 / 8,06 ^{D,c}	3,71 / 4,12 / 4,62 ^{Ab}	2,05 / 3,97 / 4,38 ^{Ab}	3,97 / 4,69 / 5,91 ^{B,c}

Tabelle 11 - Deskriptive Statistik der in Rotwein gelagerten Gruppen

*A, B, C, D, E, F: unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede eines Parameters zwischen den Materialien innerhalb der Gruppe des Färbemediums Rotwein und innerhalb eines Politurzustandes. Daher ist die Kennzeichnung waagrecht (zeilenweise) zu verstehen.

*a, b, c, d, e, f: unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den unterschiedlichen Politurzuständen innerhalb eines Materials und innerhalb der Gruppe des Färbemediums Rotwein. Daher ist die Kennzeichnung senkrecht (spaltenweise) zu verstehen.

Unterschiede zwischen den unterschiedlichen Politurzuständen innerhalb eines Materials und innerhalb des Färbemediums Rotwein

IPS e.max CAD zeigte im Vergleich zu den übrigen in dieser Dissertation geprüften Materialien initial die niedrigste Rauigkeit ($p \leq 0,041$). Signum composite präsentierte sich rauer als IPS e.max CAD und zeigte geringere Werte als die übrigen geprüften Materialien ($p \leq 0,041$). Es folgte die homogene Gruppe mit Ceramage, dialog Vario, in:joy und SR Nexco ($p = 0,121-0,999$), die nur von Gradia plus mit dem höchsten Wert übertroffen wurde ($p < 0,001$).

Initial zeigte dialog Vario die geringste Oberflächenenergie ($p \leq 0,013$), gefolgt von der Gruppe mit Ceramage und in:joy ($p = 0,880$). Gradia plus, Signum composite und SR Nexco bildeten eine homogene Gruppe ($p = 0,241-0,650$) und wurden nur von IPS e.max CAD mit dem höchsten Wert übertroffen ($p < 0,001$).

Nach 14-tägiger Lagerung in Rotwein zeigte IPS e.max CAD im Vergleich zu den übrigen geprüften Materialien die niedrigste Rauigkeit ($p \leq 0,043$). Signum composite präsentierte sich rauer als IPS e.max CAD und zeigte geringere Werte als die übrigen geprüften Materialien ($p \leq 0,043$). Es folgte dialog Vario, das mit Ceramage im gleichen Wertebereich lag ($p = 0,104$), wobei Ceramage ebenfalls mit in:joy im gleichen Wertebereich lag ($p = 0,545$) und in:joy wiederum mit SR Nexco ($p = 0,104$). Gradia plus verzeichnete die höchste Rauigkeit ($p < 0,001$).

Nach Verfärbung verzeichnete Ceramage die geringste Oberflächenenergie ($p < 0,001$), gefolgt von der homogenen Gruppe mit SR Nexco und IPS e.max CAD ($p = 0,110$). Dialog Vario, in:joy und Signum composite lagen im gleichen Wertebereich ($p = 0,158-0,543$), ebenso wie in:joy, Gradia und Signum composite, die den höchsten Wertebereich darstellen ($p = 0,111-0,448$).

Nach erneuter Politur lag IPS e.max CAD mit Signum composite im gleichen Wertebereich ($p=0,940$). Es folgten die homogene Gruppe mit Ceramage, dialog Vario, in:joy und SR Nexco ($p=0,070-0,880$), die nur von Gradia plus mit dem höchsten Wert übertroffen wurde ($p<0,001$).

Nach erneuter Politur verzeichnete Gradia plus die geringste Oberflächenenergie ($p<0,001$), gefolgt von Ceramage und dialog Vario, die im gleichen Wertebereich lagen ($p=0,909$), gefolgt von der homogenen Gruppe mit in:joy, Signum composite und SR Nexco ($p=0,406-0,910$). IPS e.max CAD zeigte die höchste Oberflächenenergie ($p<0,001$).

Bei Betrachtung der Differenz zwischen initialer Rauigkeit und nach Verfärbung lagen dialog Vario, Gradia plus, in:joy, Signum composite und IPS e.max CAD im gleichen Wertebereich ($p=0,226-0,910$), gefolgt von der Gruppe mit Ceramage, Gradia plus, in:joy, Signum composite und IPS e.max CAD ($p=0,082-0,910$). Die höchsten Werte verzeichnete die homogene Gruppe bestehend aus Ceramage und SR Nexco ($p=0,597$).

IPS e.max CAD zeigte die geringste Differenz zwischen initialem und verfärbtem Zustand ($p<0,001$), gefolgt von der homogenen Gruppe mit Gradia plus, Signum composite und SR Nexco ($p=0,131-0,495$). Ceramage und in:joy lagen im gleichen Wertebereich ($p=0,364$) und wurden nur von dialog Vario mit der höchsten Differenz übertroffen.

Den geringsten ΔE -Werte zwischen initialem und verfärbtem Zustand zeigte SR Nexco und lag mit IPS e.max CAD im gleichen Wertebereich ($p=0,597$), welches ebenfalls mit Signum composite im gleichen Wertebereich lag ($p=0,182$). Dialog Vario bildete mit in:joy eine homogene Gruppe ($p=0,069$), in:joy lag ebenfalls mit Ceramage ($p=0,791$) und Ceramage wiederum mit Gradia plus ($p=0,326$) im gleichen Wertebereich.

Zwischen initialem und erneut poliertem Zustand zeigte die homogene Gruppe mit Ceramage, Gradia plus und SR Nexco ($p=0,112-0,821$) die geringsten Rauigkeiten, gefolgt von der Gruppe mit Ceramage, dialog Vario, in:joy, Signum composite und SR Nexco ($p=0,112-0,940$). Die höchsten Werte verzeichnete IPS e.max CAD und lag damit im gleichen Wertebereich mit Ceramage und SR Nexco ($p=0,112-0,821$).

Gradia plus zeigte bei der Differenz zwischen initialem und erneut poliertem Zustand die geringste Differenz, gefolgt von Signum composite, SR Nexco und IPS e.max CAD, die im gleichen Wertebereich lagen ($p=0,545-0,940$). Signum composite und IPS e.max CAD lagen eben-

falls mit Ceramage und in:joy im gleichen Wertebereich ($p=0,054-0,677$). Den höchsten Wertebereich kennzeichnete die Gruppe mit IPS e.max CAD, in:joy und dialog Vario ($p=0,247-0,571$).

Zwischen initialem und erneut poliertem Zustand zeigte Gradia plus den geringsten ΔE -Wert ($p \leq 0,002$), in aufsteigender Reihenfolge gefolgt von Signum composite ($p \leq 0,002$) und SR Nexco ($p \leq 0,002$), die sich ebenfalls jeweils von den übrigen Materialien unterschied. Es folgte die homogene Gruppe mit in:joy und dialog Vario ($p=0,545$) vor der Gruppe mit dialog Vario und Ceramage ($p=0,829$). Ceramage lag außerdem mit IPS e.max CAD, welches den höchsten ΔE -Wert verzeichnete, im gleichen Wertebereich ($p=0,970$).

Die Differenz zwischen verfärbtem und erneut poliertem Zustand zeigte bei IPS e.max CAD die geringste Rauigkeit und lag mit Ceramage, dialog Vario, in:joy und Signum composite im gleichen Wertebereich ($p=0,075-0,940$), gefolgt von der homogenen Gruppe mit Ceramage, dialog Vario, in:joy, Signum composite und Gradia plus ($p=0,198-0,940$). Die höchsten Werte zeigte SR Nexco und lag mit Ceramage, Gradia plus, in:joy und Signum composite im gleichen Wertebereich ($p=0,070-0,940$).

Bei Betrachtung der Differenz zwischen verfärbtem und erneut poliertem Zustand verzeichnete IPS e.max CAD die geringste Oberflächenenergie ($p \leq 0,002$), gefolgt von SR Nexco, das mit Signum composite im gleichen Wertebereich lag ($p=0,326$). Signum composite bildete ebenfalls eine homogene Gruppe mit Ceramage und in:joy ($p=0,173-0,940$), welche wiederum auch mit dialog Vario im gleichen Wertebereich lagen ($p=0,059-0,940$). Die höchste Differenz wies Gradia plus auf ($p < 0,001$).

Zwischen Verfärbung und erneuter Politur zeigte SR Nexco den geringsten ΔE -Wert und lag mit Signum composite und Ceramage im gleichen Wertebereich ($p=0,082-0,597$). Ceramage bildete ebenfalls mit IPS e.max CAD eine homogene Gruppe ($p=0,059$), gefolgt von Gradia plus, das einen höheren ΔE -Wert als die bisher genannten Materialien verzeichnete ($p \leq 0,002$) und nur von dialog Vario und in:joy, die im gleichen Wertebereich lagen ($p=0,226$), übertroffen wurde.

Unterschiede zwischen den unterschiedlichen Politurzuständen innerhalb eines Materials und innerhalb des Färbemediums Rotwein

Ceramage zeigte beim Vergleich der unterschiedlichen Politurzustände zwei homogene Wertebereiche. Die geringeren Werte zeigten die Differenzen zwischen initialem und erneut poliertem, initialem und verfärbtem sowie verfärbtem und erneut poliertem Zustand ($p=0,496-0,821$). Die höheren Werte verzeichnete die homogene Gruppe mit der Rauigkeit initial, nach erneuter Politur sowie in verfärbtem Zustand ($p=0,241-0,520$).

Die geringste Oberflächenenergie zeigte Ceramage in der Differenz zwischen initialem und erneut poliertem Zustand ($p\leq 0,001$), gefolgt von der homogenen Gruppe mit den Differenzen zwischen Initialzustand und Verfärbung sowie zwischen Verfärbung und erneuter Politur ($p=0,426$). Die initiale Oberflächenenergie lag mit jener nach erneuter Politur im gleichen Wertebereich ($p=0,623$) und wurde nur durch den höchsten Wert nach Verfärbung übertroffen ($p<0,001$).

Die ΔE -Werte zwischen Initialzustand und nach erneuter Politur sowie zwischen Verfärbung und erneuter Politur lagen bei Ceramage im gleichen Wertebereich ($p=0,082$) und wurden durch den höchsten Wert zwischen initialem und verfärbtem Zustand übertroffen ($p=0,001-0,004$).

Dialog Vario zeigte beim Vergleich der unterschiedlichen Politurzustände zwei homogene Wertebereiche, die geringeren Werte zeigte die Differenzen zwischen initialem und verfärbtem, verfärbtem und erneut poliertem sowie initialem und verfärbtem Zustand ($p=0,705-0,880$), die höheren Werte verzeichnete die homogene Gruppe mit der Rauigkeit in verfärbtem, nach erneut poliertem sowie in initialem Zustand ($p=0,820-0,880$).

Dialog Vario wies die geringste Oberflächenenergie in der Differenz zwischen initialem und erneut poliertem Zustand auf ($p<0,001$), gefolgt vom Initialwert, der größer als der erste, jedoch kleiner als die übrigen Werte war ($p\leq 0,037$). Die homogene Gruppe mit der Differenz zwischen Verfärbung und erneuter Politur und der Oberflächenenergie nach erneuter Politur schlossen sich an ($p=0,880$), wobei der Wert nach erneuter Politur ebenfalls mit der Differenz zwischen Initialwert und Verfärbung im gleichen Wertebereich lag ($p=0,054$). Nach Verfärbung zeigte dialog Vario die höchste Oberflächenenergie ($p<0,001$).

Die Differenz zwischen initialem Zustand und nach erneuter Politur stellte den kleinsten ΔE -Wert dar ($p<0,001$), gefolgt von der Differenz zwischen Verfärbung und erneuter Politur, die

größer war ($p < 0,001$) und nur vom größten ΔE -Wert zwischen initialem und verfärbtem Zustand übertroffen wurde ($p < 0,001$).

Gradia plus zeigte die geringste Rauigkeit in der Differenz zwischen initialem und erneut poliertem Zustand, die mit der Differenz zwischen initialem und verfärbtem Zustand im gleichen Wertebereich lag ($p = 0,082$). Die Differenz zwischen initialem und verfärbtem Zustand lag ebenfalls mit der Differenz zwischen Verfärbung und erneuter Politur in einem Wertebereich ($p = 0,226$). Die größte Rauigkeit zeigte Gradia plus nach Verfärbung, wobei die initiale Rauigkeit und die Rauigkeit nach erneuter Politur im gleichen Wertebereich lag ($p = 0,096 - 0,734$).

Die Differenz zwischen initialer Oberflächenenergie und nach erneuter Politur stellte sich als der geringste Wert dar ($p < 0,001$), gefolgt von der Differenz zwischen Initialzustand und Verfärbung sowie der Oberflächenenergie nach erneuter Politur, die im gleichen Wertebereich lagen ($p = 0,240$). Die Differenz zwischen Verfärbung und erneuter Politur bildeten mit dem Initialwert eine homogene Gruppe ($p = 0,241$) und wurde nur vom höchsten Wert nach Verfärbung übertroffen ($p < 0,001$).

Den geringsten ΔE -Wert zeigte Gradia plus in der Differenz zwischen initialem und erneut poliertem Zustand ($p < 0,001$). Die übrigen beiden Differenzen lagen im gleichen Wertebereich ($p = 0,940$).

In:joy zeigte beim Vergleich der unterschiedlichen Politurzustände zwei homogene Wertebereiche, die geringeren Werte zeigten die Differenzen zwischen initialem und verfärbtem, verfärbtem und erneut poliertem sowie initialem und erneut poliertem Zustand ($p = 0,545 - 0,821$), die höheren Werte verzeichnete die homogene Gruppe mit den Rauigkeiten in initialem, erneut poliertem sowie in verfärbtem Zustand ($p = 0,384 - 0,545$).

Die geringste Oberflächenenergie zeigte in:joy in der Differenz zwischen initialem und erneut poliertem Zustand ($p < 0,001$), gefolgt von der homogenen Gruppe mit den übrigen beiden Differenzwerten ($p = 0,345$). Dabei lag die Differenz zwischen Initialzustand und Verfärbung ebenfalls mit dem Initialwert im gleichen Wertebereich ($p = 0,290$) und der Initialwert mit der Oberflächenenergie nach erneuter Politur ($p = 0,290$). Die höchste Oberflächenenergie zeigte in:joy nach Verfärbung ($p < 0,001$).

Die Differenz zwischen initialem Zustand und nach erneuter Politur stellte den kleinsten ΔE -Wert bei in:joy dar ($p < 0,001$), gefolgt von der Differenz zwischen Initialwert und Verfärbung,

die größer war ($p \leq 0,002$) und nur vom größten ΔE -Wert zwischen Verfärbung und erneuter Politur übertroffen wurde ($p \leq 0,002$).

Die Rauigkeit in den untersuchten Politurzuständen von Signum composite teilten sich in zwei homogene Gruppen, die Gruppe mit den geringeren Werten beinhaltete die drei Differenzwerte ($p = 0,650-0,762$), die Gruppe mit den höheren Werten vereinte die Rauigkeiten im initialen Zustand, nach Verfärbung und nach erneuter Politur ($p = 0,705-0,880$).

Die Oberflächenenergie der unterschiedlichen Politurzustände unterschied sich jeweils voneinander und werden aufsteigend genannt: den kleinsten Wert verzeichnete Signum composite in der Differenz zwischen initialem und erneut poliertem Zustand ($p < 0,001$), gefolgt von der Differenz zwischen initialem und verfärbtem Zustand ($p \leq 0,023$), der Differenz zwischen Verfärbung und erneuter Politur ($p \leq 0,023$), dem Wert nach erneuter Politur ($p \leq 0,041$), dem Initialwert ($p \leq 0,041$) und der höchsten Oberflächenenergie im verfärbten Zustand ($p < 0,001$).

Den geringsten ΔE -Wert zeigte Signum composite in der Differenz zwischen initialem und erneut poliertem Zustand ($p < 0,001$). Die übrigen beiden Differenzen lagen im gleichen Wertebereich ($p \leq 0,999$).

Die Rauigkeit in den untersuchten Politurzuständen von SR Nexco teilten sich in drei Wertebereiche, der Bereich mit den geringeren Werten beinhaltete die drei Differenzwerte ($p = 0,112-0,734$), die folgende Gruppe vereinte die Rauigkeit im erneut polierten und im initialen Zustand ($p = 0,970$), die höchste Rauigkeit zeigte SR Nexco nach Verfärbung ($p \leq 0,049$).

Die Oberflächenenergie der unterschiedlichen Politurzustände bei SR Nexco unterschied sich jeweils voneinander und werden aufsteigend genannt: den kleinsten Wert verzeichnete SR Nexco in der Differenz zwischen initialem und erneut poliertem Zustand ($p < 0,001$), gefolgt von der Differenz zwischen initialem und verfärbtem Zustand ($p \leq 0,006$), der Differenz zwischen Verfärbung und erneuter Politur ($p \leq 0,006$), dem Wert nach erneuter Politur ($p \leq 0,004$), dem Initialwert ($p \leq 0,004$) und der höchsten Oberflächenenergie im verfärbten Zustand ($p < 0,001$).

Den geringsten ΔE -Wert zeigte SR Nexco in der Differenz zwischen initialem und erneut poliertem Zustand ($p < 0,001$). Die übrigen beiden Differenzen liegen im gleichen Wertebereich ($p \leq 0,257$).

Die geringste Rauigkeit zeigte IPS e.max CAD in der Differenz zwischen verfärbtem und erneut poliertem Zustand, die mit der Differenz zwischen initialem und verfärbtem Zustand im

gleichen Wertebereich lag ($p=0,131$). Letztere bildeten ebenfalls mit der Differenz aus initialem und erneut poliertem Zustand eine homogene Gruppe ($p=0,173$), gefolgt von der homogenen Gruppe mit initialer Rauigkeit und nach Verfärbung ($p=0,257$), wobei die Rauigkeit nach Verfärbung ebenfalls mit der Rauigkeit nach erneuter Politur im gleichen Wertebereich lag ($p=0,059$).

Die geringste Oberflächenenergie zeigte IPS e.max CAD in der Differenz zwischen initialem und erneut poliertem Zustand ($p\leq 0,001$), gefolgt von der homogenen Gruppe mit den Differenzen zwischen Initialzustand und Verfärbung sowie zwischen Verfärbung und erneuter Politur ($p=0,650$). Die initiale Oberflächenenergie lag mit jener nach erneuter Politur im gleichen Wertebereich ($p=0,545$) und wurde nur durch den höchsten Wert nach Verfärbung übertroffen ($p<0,001$).

Die Differenz zwischen initialem Zustand und nach erneuter Politur stellte den kleinsten ΔE -Wert bei IPS e.max CAD dar ($p<0,001$), gefolgt von der Differenz zwischen Initialwert und Verfärbung, die größer war ($p\leq 0,005$) und nur vom größten ΔE -Wert zwischen Verfärbung und erneuter Politur übertroffen wurde ($p\leq 0,005$).

Deskriptive Statistik mit Minimum / Median / Maximum des Verblendkomposits Ceramage*

Material	Curry-Lösung	Kaffee	Kartensaft	Rote-Bete-Saft	Rotwein	
initial	Ra	0,069 / 0,076 / 0,139 ^w	0,086 / 0,112 / 0,134 ^v	0,072 / 0,082 / 0,102 ^x	0,067 / 0,077 / 0,084 ^v	0,067 / 0,076 / 0,092 ^w
	FOE	35,3 / 39,2 / 50,0 ^v	32,2 / 36,1 / 37,8 ^x	47,7 / 50,3 / 53,2 ^w	31,6 / 35,8 / 38,7 ^w	35,9 / 38,9 / 42,3 ^v
verfärbt	Ra	0,073 / 0,083 / 0,137 ^v	0,112 / 0,141 / 0,154 ^w	0,096 / 0,155 / 0,267 ^w	0,067 / 0,088 / 0,157 ^v	0,068 / 0,080 / 0,099 ^v
	FOE	65,3 / 71,2 / 72,6 ^v	72,6 / 73,6 / 74,5 ^x	70,5 / 71,9 / 75,1 ^w	72,1 / 73,3 / 75,4 ^w	73,9 / 74,4 / 75,3 ^v
erneut poliert	Ra	0,072 / 0,080 / 0,108 ^w	0,082 / 0,105 / 0,129 ^y	0,077 / 0,087 / 0,096 ^x	0,068 / 0,074 / 0,080 ^v	0,070 / 0,078 / 0,086 ^w
	FOE	33,8 / 37,7 / 42,9 ^v	36,6 / 39,6 / 45,3 ^v	35,3 / 37,7 / 41,6 ^v	36,7 / 38,2 / 44,6 ^v	36,6 / 38,3 / 40,8 ^v
Ceramage Ainitial-verfärbt	Ra	-0,002 / 0,009 / 0,054 ^w	0,002 / 0,018 / 0,055 ^w	0,019 / 0,070 / 0,186 ^x	-0,015 / 0,008 / 0,079 ^w	-0,024 / 0,008 / 0,017 ^v
	FOE	21,6 / 32,1 / 37,3 ^w	35,2 / 37,4 / 41,4 ^v	18,1 / 21,4 / 26,0 ^v	35,0 / 37,2 / 43,2 ^x	32,1 / 36,1 / 38,3 ^x
Ainitial-erneut poliert	AE _{ab}	25,50 / 36,73 / 41,87 ^y	7,06 / 8,12 / 10,08 ^x	2,04 / 2,79 / 4,92 ^v	5,08 / 5,66 / 12,61 ^w	4,58 / 5,50 / 9,41 ^w
	Ra	-0,031 / 0,002 / 0,020 ^w	-0,020 / -0,003 / 0,002 ^v	-0,016 / 0,000 / 0,016 ^w	-0,007 / -0,004 / 0,003 ^{ab}	-0,022 / 0,003 / 0,015 ^{ab}
Averfärbt-erneut poliert	FOE	-12,3 / 0,1 / 2,7 ^w	-0,6 / 4,8 / 10,0 ^x	-1,5,6 / -12,7 / -7,8 ^v	-0,4 / 4,5 / 7,1 ^x	-3,2 / -0,6 / 2,5 ^w
	AE _{ab}	4,22 / 9,16 / 10,57 ^x	2,03 / 3,08 / 4,70 ^w	0,53 / 1,28 / 1,49 ^v	0,93 / 1,10 / 2,03 ^v	1,77 / 2,32 / 6,75 ^w
Averfärbt-erneut poliert	Ra	-0,001 / 0,007 / 0,044 ^v	0,005 / 0,033 / 0,054 ^w	0,017 / 0,063 / 0,190 ^x	-0,010 / 0,011 / 0,084 ^w	-0,008 / 0,000 / 0,021 ^v
	FOE	22,4 / 34,2 / 38,0 ^v	28,0 / 34,2 / 36,9 ^v	28,9 / 33,8 / 39,8 ^w	28,1 / 34,9 / 38,4 ^w	33,3 / 36,2 / 38,7 ^w
liert	AE _{ab}	21,51 / 28,23 / 32,02 ^y	4,67 / 5,43 / 5,70 ^x	2,08 / 2,97 / 4,96 ^v	4,54 / 4,91 / 11,86 ^x	3,61 / 4,37 / 5,58 ^w

Tabelle 12 - Deskriptive Statistik des Materials Ceramage

* v, w, x, y, z: unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede eines Parameters zwischen den Färbemedien innerhalb des Komposits Ceramage und innerhalb eines Politurzustandes. Daher ist die Kennzeichnung waagrecht (zeilenweise) zu verstehen.

Unterschiede zwischen den unterschiedlichen Färbemedien innerhalb eines Politurzustandes für das Komposit Ceramage

Initial zeigte Ceramage drei Wertebereiche, die geringste Rauigkeit zeigten die Gruppen, die anschließend mit Rotwein, Roter Bete und Curry-Lösung gefärbt wurden ($p=0,449-0,821$) gefolgt von der Rote-Bete-Saft- und Karottensaft-Gruppe ($p=0,070$). Die anschließend in Kaffee gelagerte Gruppe zeigte initial die höchste Rauigkeit ($p<0,001$).

Ceramage zeigte initial drei Wertebereiche. Die geringste Oberflächenenergie zeigte die Gruppen, die anschließend in Roter Bete und Kaffee gelagert wurden ($p=0,850$) gefolgt von der Rotwein- und Curry-Lösung-Gruppe ($p=0,910$). Die anschließend in Karottensaft gelagerte Gruppe zeigte initial die höchste Oberflächenenergie ($p\leq 0,001$).

Nach Verfärbung ließen sich die Rauigkeit in zwei Wertebereiche einteilen, die niedrigere Rauigkeit verzeichneten die in Rotwein, Roter Bete und Curry-Lösung gelagerten Prüfkörper ($p=0,199-0,821$), die höhere Rauigkeit zeigten die in Kaffee und Karottensaft gelagerten Prüfkörper ($p=0,119$).

Nach Verfärbung in den jeweiligen Lösungen zeigten die in Curry-Lösung und in Karottensaft gelagerten Gruppen den gleichen Wertebereich der Oberflächenenergie ($p=0,096$), gefolgt von der homogenen Gruppe mit den Färbelösungen Karottensaft und Rote-Bete-Saft ($p=0,058$). Die in Rote-Bete-Saft gelagerten Prüfkörper zeigten ebenfalls den gleichen Wertebereich mit der in Kaffee gelagerten Gruppe ($p=0,650$). Die in Rotwein gelagerte Gruppe verzeichnete die höchste Oberflächenenergie ($p\leq 0,015$).

Nach erneuter Politur zeigten die in Roter Bete und Rotwein gelagerten Gruppen die kleinste Rauigkeit ($p=0,140$), gefolgt von den in Rotwein und Curry-Lösung verfärbten Gruppen ($p=0,326$). Die Rauigkeit der in Curry-Lösung verfärbten Prüfkörper lag ebenfalls im Wertebereich der in Karottensaft verfärbten ($p=0,237$). Die in Kaffee gelagerte Gruppe zeigte die höchste Rauigkeit ($p\leq 0,004$).

Nach erneuter Politur lag die Oberflächenenergie aller Gruppen im gleichen Wertebereich ($p=0,076-0,880$).

Bei Betrachtung der Differenz zwischen initialem und verfärbtem Zustand zeigte die Rauigkeit der in Rotwein gelagerten Prüfkörper die geringsten Werte und lag mit den in Curry-Lösung und in Roter Bete gelagerten Prüfkörpern im gleichen Wertebereich ($p=0,705-0,970$). Es folgte die homogene Gruppe mit den in Curry-Lösung, Rote-Bete-Saft und Kaffee gelagerten Prüfkörpern ($p=0,059-0,970$), die nur vom höchsten Wert durch die in Karottensaft gelagerte Gruppe übertroffen wurde ($p\leq 0,003$).

Die Oberflächenenergiedifferenz zwischen initialem und verfärbtem Zustand war am kleinsten in der Gruppe, die in Karottensaft gelagert wurde ($p<0,001$), gefolgt von der in Curry-Lösung gelagerten Gruppe, die größer als die in Karottensaft verfärbten Gruppe war, jedoch kleiner als die folgenden Gruppen ($p\leq 0,015$). Die Oberflächenenergie der in Rotwein gelagerten Gruppe lag mit der in Rote-Bete-Saft gelagerten Gruppe im gleichen Wertebereich ($p=0,063$), die in Rote-Bete-Saft gelagerte Gruppe lag ebenfalls mit der Gruppe im gleichen Wertebereich, die in Kaffee gelagert wurde ($p=0,705$).

Beim Vergleich der ΔE -Werte von Ceramage nach Verfärbung mit der untersuchten Färbe-
medien zeigte den geringsten ΔE -Wert zwischen initialem und verfärbtem Zustand die in Karottensaft gelagerte Gruppe ($p<0,001$), gefolgt von der in Rotwein und Rote-Bete-Saft verfärbten Gruppen, die im gleichen Wertebereich lagen ($p=0,364$). Die in Rote-Bete-Saft gelagerte Gruppe lag darüber hinaus im gleichen Wertebereich mit der in Kaffee gelagerten Gruppe ($p=0,131$). Die in Curry-Lösung gelagerte Gruppe verzeichnete den höchsten ΔE -Wert ($p<0,001$).

Die Differenz der Rauigkeit zwischen initialem und erneut poliertem Zustand teilte sich in zwei Wertebereiche, wobei die in Rotwein, Karottensaft und Rote-Bete-Saft gelagerten Gruppen beiden Wertebereichen zuzuordnen war. Der Wertebereich mit den geringeren Werten wurde durch die zusätzliche Zugehörigkeit der in Kaffee verfärbten Gruppe gekennzeichnet ($p=0,096-0,821$), die Gruppe mit den höheren Werten beinhaltete die in Curry-Lösung gelagerte Gruppe ($p=0,059-0,880$).

Die Differenz der Oberflächenenergie zwischen Initialzustand und nach erneuter Politur zeigte bei der in Karottensaft gelagerten Gruppe die geringsten Werte ($p<0,001$), gefolgt von der in Rotwein und Curry-Lösung gelagerten Gruppe, die im gleichen Wertebereich lagen ($p=0,970$). Die höchsten Werte zeigte die homogene Gruppe der in Rote-Bete-Saft und Kaffee gelagerten Prüfkörper ($p=0,820$).

Der ΔE -Wert zwischen initialem und erneut poliertem Zustand zeigte die geringsten Werte bei der homogenen Gruppe bestehend aus den Gruppen, die in Karottensaft und in Rote-Bete-Saft gelagert wurden ($p=0,791$). Es folgten die in Kaffee und Rotwein gelagerten Gruppen, die im gleichen Wertebereich lagen ($p=0,496$). Die in Curry-Lösung verfärbten Prüfkörper zeigten den höchsten ΔE -Wert ($p<0,001$).

Die Differenz der Rauigkeit zwischen Verfärbung und erneuter Politur war bei der in Rotwein gelagerten Gruppe am geringsten, die damit im gleichen Wertebereich mit den in Curry und Rote-Bete-Saft gelagerten Gruppen lag ($p=0,140-0,545$). Die Rauigkeiten der in Rote-Bete-Saft gelagerten Gruppe bildete ebenfalls mit der in Kaffee gelagerten Gruppe eine homogene Gruppe ($p=0,112$). Die in Karottensaft gelagerte Gruppe zeigte die höchsten Werte ($p\leq 0,016$).

Die Oberflächenenergiedifferenz zwischen Verfärbung und erneuter Politur präsentierte sich in zwei homogenen Gruppen. Die geringere Differenz verzeichnete die Gruppe mit den in Curry-Lösung, Kaffee, Karottensaft und Rote-Bete-Saft gelagerten Prüfkörpern ($p=0,172-0,999$). Die in Karottensaft und Rote-Bete-Saft gelagerten Gruppen lagen außerdem im gleichen Wertebereich mit der Rotwein-Gruppe ($p=0,069-0,172$). Sie gehörten dem höheren Wertebereich an.

Den geringsten ΔE -Wert zwischen Verfärbung und erneuter Politur bei Ceramage verzeichnete die in Karottensaft gefärbte Gruppe ($p\leq 0,005$), gefolgt von der in Rotwein gelagerten Gruppe, die höhere Werte als die Karottensaft-Gruppe, jedoch geringere Werte als die folgenden Gruppen aufwies ($p\leq 0,005$). Die nächst höheren Werte zeigten die in Kaffee und Rote-Bete-Saft gelagerten Gruppen, die im gleichen Wertebereich lagen ($p=0,257$). Den höchsten Wert zeigte die Gruppe, die in Curry-Lösung gelagert wurde ($p<0,001$).

Deskriptive Statistik mit Minimum / Median / Maximum des Verblendkomposits dialog Vario*

Material	Curry-Lösung	Kaffee	Kartensaft	Rote-Bete-Saft	Rotwein	
initial	Ra	0,061 / 0,078 / 0,132 ^w	0,063 / 0,087 / 0,114 ^w	0,073 / 0,087 / 0,011 ^w	0,070 / 0,076 / 0,092 ^v	0,069 / 0,074 / 0,093 ^v
	FOE	33,6 / 44,7 / 49,9 ^x	33,6 / 35,5 / 41,7 ^v	40,3 / 42,4 / 43,4 ^w	32,6 / 34,2 / 37,5 ^v	33,3 / 35,9 / 39,4 ^v
verfärbt	Ra	0,069 / 0,091 / 0,207 ^w	0,083 / 0,107 / 0,120 ^{w,x}	0,092 / 0,120 / 0,413 ^v	0,084 / 0,113 / 0,158 ^{x,v}	0,058 / 0,075 / 0,091 ^v
	FOE	64,6 / 72,5 / 77,1 ^v	72,3 / 73,3 / 76,2 ^w	66,6 / 72,2 / 74,1 ^v	72,9 / 73,5 / 74,0 ^w	75,8 / 77,0 / 77,4 ^x
erneut poliert	Ra	0,071 / 0,088 / 0,098 ^x	0,079 / 0,093 / 0,107 ^x	0,076 / 0,085 / 0,090 ^x	0,073 / 0,078 / 0,089 ^w	0,068 / 0,075 / 0,092 ^v
	FOE	33,3 / 36,1 / 38,5 ^{w,x}	32,1 / 34,1 / 38,9 ^w	35,1 / 36,9 / 41,1 ^x	26,8 / 29,7 / 33,8 ^v	35,8 / 38,1 / 54,8 ^v
Ainitial-verfärbt	Ra	-0,006 / 0,013 / 0,075 ^v	0,001 / 0,015 / 0,040 ^w	0,009 / 0,038 / 0,318 ^x	0,009 / 0,034 / 0,086 ^x	-0,019 / 0,000 / 0,007 ^v
	FOE	18,7 / 27,6 / 43,5 ^v	30,6 / 38,3 / 39,8 ^x	23,2 / 30,1 / 31,7 ^w	35,9 / 39,7 / 40,8 ^x	36,4 / 41,3 / 43,3 ^v
Ainitial-erneut poliert	AE _{ab}	9,11 / 22,10 / 25,70 ^x	4,56 / 5,21 / 5,57 ^w	1,63 / 2,11 / 5,79 ^v	4,48 / 5,16 / 5,56 ^w	4,48 / 5,00 / 6,02 ^w
	Ra	-0,047 / 0,010 / 0,026 ^w	-0,008 / 0,005 / 0,028 ^w	-0,024 / -0,002 / 0,014 ^w	-0,015 / 0,004 / 0,012 ^w	-0,011 / 0,001 / 0,004 ^v
Averfärbt-erneut poliert	FOE	-11,9 / -8,4 / -0,3 ^v	-4,2 / -1,6 / 1,7 ^x	-7,8 / -5,1 / 0,5 ^w	-6,7 / -5,3 / -0,1 ^w	-3,6 / 3,1 / 19,5 ^v
	AE _{ab}	0,75 / 1,03 / 1,96 ^w	1,00 / 1,20 / 1,72 ^w	0,93 / 1,14 / 1,39 ^w	0,48 / 0,53 / 0,81 ^v	1,24 / 2,00 / 3,38 ^x
Averfärbt-erneut poliert	Ra	-0,029 / 0,004 / 0,122 ^{w,x}	-0,003 / 0,012 / 0,034 ^w	0,007 / 0,035 / 0,325 ^v	0,002 / 0,032 / 0,081 ^{x,v}	-0,022 / 0,001 / 0,006 ^v
	FOE	30,3 / 35,1 / 43,8 ^w	33,4 / 39,7 / 44,0 ^x	29,6 / 34,5 / 37,4 ^v	39,8 / 43,9 / 46,6 ^v	22,2 / 38,7 / 40,5 ^{w,x}
AE _{ab}	9,08 / 22,54 / 25,66 ^v	4,37 / 4,70 / 5,13 ^w	2,15 / 2,69 / 6,49 ^v	4,46 / 4,86 / 5,07 ^w	6,45 / 6,88 / 7,71 ^x	

Tabelle 13 - Deskriptive Statistik des Materials dialog Vario

* v, w, x, y, z: unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede eines Parameters zwischen den Färbemedien innerhalb des Komposits dialog Vario und innerhalb eines Politurzustandes. Daher ist die Kennzeichnung waagrecht (zeilenweise) zu verstehen.

Unterschiede zwischen den unterschiedlichen Färbemedien innerhalb eines Politurzustandes und innerhalb des Komposits dialog Vario

Die initiale Rauigkeit von dialog Vario verteilte sich auf zwei homogenen Wertebereiche, die niedrigeren Rauigkeiten verzeichneten die Rotwein-, Rote-Bete-Saft- und Curry-Lösungs-Gruppe ($p=0,326-0,571$). Die Curry-Lösungs-Gruppe lag ebenfalls mit der Karottensaft- und der Kaffee-Gruppe im gleichen Wertebereich ($p=0,226-0,940$).

Die Gruppen, die anschließend in Rote-Bete-Saft, Rotwein und Kaffee gelagert wurden, zeigten initial die geringste Oberflächenenergie ($p=0,185-0,999$), gefolgt von der Karottensaft-Gruppe, die höhere Werte als die erstgenannten Gruppen aufwies ($p\leq 0,023$) und nur von der anschließend in Curry-Lösung gelagerten Gruppe mit den höchsten Werten übertroffen wurde ($p=0,004-0,023$).

Nach Verfärbung zeigte dialog Vario die geringste Rauigkeit nach Lagerung in Rotwein ($p\leq 0,007$), gefolgt von den in Curry-Lösung und Kaffee gelagerten Gruppen, die im gleichen Wertebereich lagen ($p=0,059$). Die in Kaffee gelagerte Gruppe lag ebenfalls mit der in Rote-Bete-Saft verfärbten Gruppe im gleichen Wertebereich ($p=0,199$), welche wiederum mit der Gruppe, die in Karottensaft gelagert wurden, die homogene Gruppe mit den höchsten Rauigkeiten darstellte ($p=0,326$).

Die freie Oberflächenenergie der Gruppen, die in Curry-Lösung, Karottensaft und Kaffee gelagert wurden, lag im gleichen und kleinsten Wertebereich ($p=0,121-0,910$), gefolgt von der homogenen Gruppe mit Rote-Bete-Saft und Kaffee-Färbung ($p=0,494$). Die Oberflächenenergie nach Verfärbung in Rotwein war am höchsten ($p<0,001$).

Nach erneuter Politur zeigte die in Rotwein gelagerte Gruppe bei dialog Vario die niedrigste Rauigkeit ($p=0,001-0,028$), gefolgt von der in Rote-Bete-Saft gelagerten Gruppe, die höhere Rauigkeit aufwies ($p=0,001-0,028$). Die homogene Gruppe mit Karottensaft-, Curry-, und Kaffee-Färbung zeigten die höchsten Rauigkeiten ($p=0,140$).

Die Rote-Bete-Saft-Gruppe zeigte nach erneuter Politur die geringste Oberflächenenergie ($p<0,001$), gefolgt von den in Kaffee und Curry-Lösung verfärbten Gruppen, die im gleichen

Wertebereich lagen ($p=0,064$). Die Curry-Lösung-Gruppe bildete ebenfalls mit der Karottensaft-verfärbten Gruppe einen homogenen Wertebereich ($p=0,074$) und wurde nur von der in Rotwein gelagerten Gruppe mit dem höchsten Wert übertroffen ($p\leq 0,017$).

Die Differenz zwischen initialem und verfärbtem Zustand fiel bezüglich der Rauigkeit bei der in Rotwein gelagerten Gruppe am kleinsten aus ($p<0,001$), gefolgt von der homogenen Gruppe mit den in Kaffee und Curry-Lösung gelagerten Prüfkörpern ($p=0,571$). Die in Rote-Bete-Saft und Karottensaft gelagerten Gruppen lagen im gleichen und höchsten Wertebereich ($p=0,940$).

Die Oberflächenenergie war zwischen initialem und verfärbtem Zustand in der Curry-Lösung-Gruppe am geringsten ($p=0,002-0,031$), die nächst höheren Werte verzeichnete die in Karottensaft gelagerte Gruppe, die höhere Werte als die Curry-Lösung-Gruppe und niedrigere Werte als die übrigen Gruppen aufwies ($p\leq 0,031$). Die in Kaffee und Rote-Bete-Saft verfärbten Gruppen lagen im gleichen Wertebereich ($p=0,183$) und wurden nur von der Rotwein-Gruppe mit der höchsten Oberflächenenergie übertroffen ($p\leq 0,019$).

Den geringsten ΔE -Wert zwischen Initialzustand und Verfärbung verzeichnete die in Karottensaft gelagerte Gruppe ($p\leq 0,002$), gefolgt von der Rote-Bete-Saft-, Rotwein- und Kaffee-Gruppe, die im gleichen Wertebereich lagen ($p=0,364-0,650$). Die in Curry-Lösung gelagerte Gruppe verzeichnete die höchsten ΔE -Werte ($p<0,001$).

Die Rauigkeit bezüglich der Differenz zwischen Initialzustand und erneuter Politur teilte sich in zwei Wertebereiche. Die homogene Gruppe mit den niedrigeren Rauigkeiten bildeten die in Rotwein, Karottensaft, Rote-Bete-Saft und Kaffee gelagerten Gruppen ($p=0,112-0,850$). Karottensaft, Kaffee und Rote-Bete-Saft lagen ebenfalls mit Curry-Lösung im gleichen und höheren Wertebereich ($p=0,112-0,850$).

Die Oberflächenrauigkeit bei der Differenz zwischen initialem und erneut poliertem Zustand war in der mit Curry-Lösung verfärbten Gruppe am geringsten ($p\leq 0,026$), gefolgt von der Rote-Bete-Saft- und Karottensaft-verfärbten Gruppe, die im gleichen Wertebereich lagen ($p=570$). Die Oberflächenenergie bei Kaffeeverfärbung war größer als die bisher genannten, jedoch kleiner als bei Rotweinverfärbung ($p=0,004-0,023$), welche den größten Wert zeigte ($p\leq 0,006$).

Den geringsten ΔE -Wert zeigte dialog Vario bei Betrachtung der Differenz zwischen Initial- und erneut poliertem Zustand nach Rote-Bete-Saft Verfärbung ($p<0,001$), gefolgt von der homogenen Gruppe mit Curry-Lösung-, Karottensaft- und Kaffeeverfärbung ($p=0,104-0,406$). Die Rotweinverfärbung zeigte den höchsten ΔE -Wert ($p<0,001$).

Die Differenz der Rauigkeit zwischen Verfärbung und erneuter Politur fiel bei dialog Vario in der mit Rotwein gefärbten Gruppe am niedrigsten aus und lag mit der Curry-Lösung-Gruppe im gleichen Wertebereich ($p=0,273$). Es folgte die homogene Gruppe mit der Curry-Lösung- und Kaffee-verfärbten Gruppe ($p=0,162$) vor der homogenen Gruppe, die die Curry-Lösung-Gruppe mit der Rote-Bete-Saft-Gruppe bildete ($p=0,162$). Die Rote-Bete-Saft-Gruppe lag ebenfalls mit der Karottensaft Gruppe im gleichen Wertebereich ($p=0,762$).

Die Differenz der Oberflächenenergie zwischen Verfärbung und erneuter Politur zeigte in der Gruppe mit Karottensaftverfärbung die geringsten Werte, sie lag mit der Curry-Lösung-Gruppe im gleichen Wertebereich ($p=0,344$). Die Curry-Lösung-Gruppe lag ebenfalls mit der Rotwein-Gruppe im gleichen Wertebereich ($p=0,075$), wobei die in Rotwein gelagerte Gruppe auch eine homogene Gruppe mit der Kaffee verfärbten Gruppe bildete ($p=0,520$). Die Rote-Bete-Saft-Gruppe zeigte die höchsten Werte ($p\leq 0,005$).

Den geringsten ΔE -Wert zeigte dialog Vario bei Betrachtung der Differenz zwischen verfärbtem- und erneut poliertem Zustand nach Karottensaft-Verfärbung ($p<0,001$), gefolgt von der homogenen Gruppe mit Rote-Bete-Saft- und Kaffeeverfärbung ($p=0,290$). Die Rotweinverfärbung zeigte einen höheren ΔE -Wert als die bisher genannten Gruppen ($p<0,001$), und wurde nur von der Gruppe mit Curry-Lösung-Verfärbung mit dem höchsten Wert übertroffen ($p<0,001$).

Deskriptive Statistik mit Minimum / Median / Maximum des Verblendkomposits Gradia plus*

Material	Curry-Lösung	Kaffee	Karottensaft	Rote-Bete-Saft	Rotwein	
initial	Ra	0,138 / 0,152 / 0,177 ^x	0,129 / 0,138 / 0,164 ^w	0,104 / 0,125 / 0,213 ^x	0,113 / 0,139 / 0,154 ^w	0,133 / 0,158 / 0,165 ^x
	FOE	39,8 / 44,6 / 48,4 ^w	30,1 / 33,4 / 38,0 ^v	46,9 / 48,6 / 50,2 ^x	31,5 / 33,6 / 37,7 ^w	41,7 / 45,0 / 49,0 ^w
verfärbt	Ra	0,107 / 0,151 / 0,175 ^w	0,142 / 0,159 / 0,192 ^w	1,01 / 0,126 / 0,218 ^v	0,113 / 0,136 / 0,189 ^{v,w}	0,121 / 0,157 / 0,174 ^w
	FOE	70,7 / 71,9 / 73,2 ^x	72,2 / 73,6 / 74,7 ^w	72,9 / 74,2 / 75,2 ^w	72,4 / 74,1 / 74,7 ^w	76,5 / 77,4 / 79,6 ^x
erneuert poliert	Ra	0,134 / 0,149 / 0,157 ^w	0,154 / 0,174 / 0,190 ^x	0,119 / 0,131 / 0,170 ^v	0,126 / 0,148 / 0,156 ^{v,w}	0,137 / 0,148 / 0,160 ^w
	FOE	32,0 / 34,2 / 37,2 ^{v,w}	31,4 / 35,6 / 40,4 ^{v,w}	32,4 / 35,4 / 40,0 ^w	32,5 / 35,4 / 37,4 ^{v,w}	30,4 / 33,4 / 36,0 ^v
Ainitial-verfärbt	Ra	-0,034 / -0,003 / 0,029 ^v	-0,004 / 0,025 / 0,053 ^w	-0,015 / -0,002 / 0,009 ^v	-0,037 / 0,009 / 0,051 ^{v,w}	-0,017 / 0,002 / 0,012 ^v
	FOE	22,4 / 27,5 / 32,8 ^x	36,4 / 40,4 / 44,5 ^x	23,7 / 25,9 / 28,0 ^v	36,1 / 40,5 / 43,1 ^x	28,4 / 32,2 / 37,9 ^w
Ainitial-erneuert poliert	AE _{ab}	27,88 / 31,15 / 36,40 ^x	8,21 / 8,64 / 8,89 ^v	4,76 / 7,32 / 8,40 ^x	4,57 / 4,84 / 5,06 ^v	5,87 / 6,24 / 6,49 ^w
	Ra	-0,020 / -0,009 / 0,016 ^v	0,016 / 0,030 / 0,052 ^x	-0,058 / 0,008 / 0,066 ^{v,w}	-0,016 / 0,008 / 0,014 ^w	-0,021 / -0,005 / 0,005 ^v
Averfärbt-erneuert poliert	FOE	-15,3 / -10,0 / -4,6 ^v	-2,1 / 1,7 / 10,3 ^w	-16,8 / -13,4 / -6,9 ^v	-2,0 / 2,4 / 5,2 ^w	-15,3 / -12,4 / -7,1 ^v
	AE _{ab}	0,87 / 1,25 / 5,37 ^{w,x,y}	1,00 / 1,47 / 1,65 ^x	1,52 / 1,64 / 1,87 ^v	1,02 / 1,15 / 1,41 ^w	0,15 / 0,27 / 0,67 ^v
Averfärbt-erneuert poliert	Ra	-0,027 / 0,001 / 0,041 ^v	-0,026 / -0,011 / 0,019 ^v	-0,069 / -0,004 / 0,063 ^v	-0,036 / -0,001 / 0,042 ^v	-0,017 / 0,008 / 0,032 ^v
	FOE	33,9 / 38,0 / 39,8 ^x	34,2 / 38,4 / 41,9 ^v	33,4 / 38,8 / 40,9 ^v	35,1 / 38,5 / 42,2 ^v	40,6 / 43,9 / 47,0 ^w
AE _{ab}	27,38 / 30,98 / 32,66 ^v	7,01 / 7,54 / 8,45 ^x	4,53 / 6,73 / 7,88 ^w	4,15 / 4,31 / 5,10 ^v	5,70 / 6,26 / 6,55 ^w	

Tabelle 14 - Deskriptive Statistik des Materials Gradia plus

* v, w, x, y, z: unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede eines Parameters zwischen den Färbemedien innerhalb des Komposits Gradia plus und innerhalb eines Politurzustandes. Daher ist die Kennzeichnung waagrecht (zeilenweise) zu verstehen.

Unterschiede zwischen den unterschiedlichen Färbemedien innerhalb eines Politurzustandes für das Komposit Gradia plus

Initial zeigte die anschließend in Karottensaft gelagerte Gruppe die geringste Rauigkeit ($p=0,005-0,041$), gefolgt von der Kaffee- und Rote-Bete-Saft-Gruppe, die im gleichen Wertebereich lagen ($p=0,623$). Die höchsten Werte verzeichnete die homogene Gruppe mit den anschließend in Rotwein und Curry-Lösung gelagerten Gruppen ($p=0,496$).

Die initiale Oberflächenenergie war in der Kaffee- und Rote-Bete-Saft-Gruppe, die im gleichen Wertebereich lagen, am geringsten ($p=0,762$), gefolgt von der homogenen Gruppe mit den in Curry-Lösung und Rotwein gelagerten Gruppen ($p=0,597$). Die Gruppe, die anschließend in Karottensaft gelagert wurde, zeigte die höchste Oberflächenenergie ($p\leq 0,004$).

Nach Verfärbung präsentierten die in Karottensaft und Rote-Bete-Saft gelagerten Gruppen die geringste Rauigkeit ($p=0,290$), wobei die in Rote-Bete-Saft gelagerte Gruppe ebenfalls mit den in Rotwein, Curry-Lösung und Kaffee gelagerten Gruppen im gleichen Wertebereich lag ($p=0,140-0,763$).

Nach 14-tägiger Lagerung in den Färbemedien zeigte die in Curry-Lösung gelagerte Gruppe die geringste Oberflächenenergie ($p<0,001$), gefolgt von der homogenen Gruppe bestehend aus den Kaffee-, Rote-Bete-Saft- und Karottensaft-verfärbten Gruppen ($p=0,240-0,595$). Die höchste Oberflächenenergie verzeichnete Gradia plus nach Lagerung in Rotwein ($p<0,001$).

Nach erneuter Politur zeigte die in Karottensaft gelagerte Gruppe die niedrigste Rauigkeit und lag im gleichen Wertebereich mit der Rote-Bete-Saft-Gruppe ($p=0,075$). Diese bildete ebenfalls eine homogene Gruppe mit den Rotwein- und Curry-Lösung-verfärbten Gruppen ($p=0,570-0,880$). Die in Kaffee gelagerte Gruppe zeigte die höchste Rauigkeit ($p<0,001$).

Die Oberflächenenergie nach erneuter Politur verteilte sich bei Gradia plus auf zwei Wertebereiche. Den niedrigen Wertebereich bildeten die Gruppen Rotwein, Curry-Lösung, Rote-Bete-Saft und Kaffee ($p=0,053-0,705$), den höheren die Gruppen Curry-Lösung, Rote-Bete-Saft, Kaffee und Karottensaft ($p=0,364-0,970$).

Bei Betrachtung der Differenz zwischen initialem und verfärbtem Zustand lagen die geringsten Rauigkeiten bei der homogenen Gruppe mit der Rotwein-, Karottensaft-, Curry-, und Rote-Bete-Saft Gruppe vor ($p=0,545-0,821$), wobei die Rote-Bete-Saft-Gruppe ebenfalls mit der in Kaffee verfärbten Gruppe im gleichen Wertebereich lag ($p=0,131$).

Die Differenz zwischen der Oberflächenenergie in initialem und verfärbtem Zustand fiel bei der in Karottensaft und Curry-Lösung verfärbten Gruppe am geringsten aus, sie lagen damit im gleichen Wertebereich ($p=0,520$). Die Gruppe Rotwein unterschied sich von allen weiteren Gruppen ($p\leq 0,013$), sie zeigte eine höhere Oberflächenenergie als die Gruppen Karottensaft und Curry-Lösung, jedoch geringere Werte als die Gruppen Kaffee und Rote-Bete-Saft, die eine homogene Gruppe bildeten und die höchsten Differenzen verzeichneten ($p=0,762$).

Die ΔE -Werte zwischen initialem und verfärbtem Zustand unterschieden sich bei Gradia plus jeweils voneinander. Den geringsten Wert präsentierte die Gruppe Rote-Bete-Saft ($p<0,001$), in aufsteigender Reihenfolge gefolgt von den Gruppen Rotwein ($p\leq 0,028$), Karottensaft ($p\leq 0,028$), Kaffee ($p<0,001$) und Curry-Lösung ($p<0,001$).

Zwischen initialem und erneut poliertem Zustand zeigten die Verfärbungen durch Rotwein und Curry-Lösung die geringste Differenz der Rauigkeit, und lagen mit der in Karottensaft gelagerten Gruppe im gleichen Wertebereich ($p=0,112-0,940$). Die Karottensaft-verfärbte Gruppe lag außerdem mit der in Rote-Bete-Saft gelagerten Gruppe im gleichen Wertebereich ($p=0,821$). Die Kaffee-Gruppe zeigte die höchsten Werte ($p\leq 0,004$).

Die Unterschiede in der Oberflächenenergie zwischen Initialzustand und erneuter Politur teilten sich in zwei homogene Gruppen. Die kleineren Werte verzeichnete die homogene Gruppe mit den Karottensaft-, Rotwein- und Curry-Lösung-verfärbten Gruppen ($p=0,054-0,290$). Die höheren Werte zeigten die Gruppen Rote-Bete-Saft und Kaffee, die die zweite Gruppe darstellen ($p=0,880$).

Zwischen initialem und erneut poliertem Zustand zeigte die in Rotwein gelagerte Gruppe den geringsten ΔE -Werte ($p<0,001$). Die in Curry-Lösung gelagerte Gruppe lag jeweils im gleichen Wertebereich mit den folgenden Gruppen, die sich sonst jeweils voneinander unterschieden und in aufsteigender Reihenfolge gelistet sind: Rote-Bete-Saft ($p=0,650$), Kaffee ($p=0,734$) sowie Karottensaft ($p=0,162$).

Bei der Differenz der Rauigkeit zwischen Verfärbung und erneuter Politur zeigte Gradia plus keine signifikanten Unterschiede zwischen den unterschiedlichen Färbemedien ($p=0,059-0,880$).

Die Oberflächenenergie zwischen Verfärbung und erneuter Politur teilte sich auf in einen homogenen Wertebereich mit den Gruppen Curry-Lösung, Kaffee, Karottensaft und Rote-Bete-Saft ($p=0,082-0,820$), während die Gruppe Rotwein die höchste Oberflächenenergie zeigte ($p<0,001$).

Die Farbdifferenz zwischen Verfärbung und erneuter Politur fiel in der Gruppe Rote-Bete-Saft am geringsten aus ($p<0,001$), gefolgt von den in Rotwein und Karottensaft verfärbten Gruppen, die eine homogene Gruppe bildeten ($p=0,151$). Die Gruppe Kaffee zeigte höhere Werte als die bisher genannten Gruppen ($p\leq 0,023$) und wurde nur von der in Curry-Lösung gelagerten Gruppe mit dem höchsten ΔE -Werte ($p<0,001$) übertroffen.

Deskriptive Statistik mit Minimum / Median / Maximum des Verblendkomposits in:joy*

Material	Curry-Lösung	Kaffee	Karottensaft	Rote-Bete-Saft	Rotwein	
initial	Ra	0,055 / 0,067 / 0,082 ^w	0,059 / 0,067 / 0,083 ^w	0,058 / 0,067 / 0,075 ^w	0,053 / 0,058 / 0,068 ^w	0,062 / 0,082 / 0,093 ^x
	FOE	43,9 / 47,3 / 49,5 ^v	37,8 / 42,9 / 53,1 ^w	43,9 / 46,1 / 49,0 ^{xv}	39,7 / 44,4 / 47,9 ^{wx}	35,1 / 38,7 / 46,4 ^v
verfärbt	Ra	0,062 / 0,076 / 0,088 ^w	0,073 / 0,091 / 0,119 ^x	0,056 / 0,072 / 0,083 ^v	0,067 / 0,076 / 0,113 ^{wxs}	0,062 / 0,086 / 0,097 ^{wxs}
	FOE	69,0 / 70,9 / 72,2 ^v	71,8 / 72,5 / 73,0 ^w	72,7 / 73,4 / 74,0 ^e	72,8 / 74,1 / 74,5 ^v	74,4 / 77,2 / 77,8 ^e
erneut poliert	Ra	0,062 / 0,074 / 0,084 ^w	0,063 / 0,69 / 0,078 ^w	0,054 / 0,061 / 0,081 ^v	0,053 / 0,063 / 0,076 ^v	0,066 / 0,082 / 0,093 ^x
	FOE	36,8 / 40,2 / 45,7 ^w	40,5 / 45,8 / 47,6 ^x	34,5 / 37,8 / 41,6 ^v	37,8 / 41,2 / 44,5 ^w	38,1 / 41,6 / 43,7 ^w
in:joy Ainitial-verfärbt	Ra	-0,003 / 0,010 / 0,020 ^w	0,007 / 0,022 / 0,052 ^x	-0,012 / 0,005 / 0,016 ^v	0,006 / 0,012 / 0,053 ^{wxs}	-0,005 / 0,002 / 0,017 ^v
	FOE	20,0 / 24,2 / 28,2 ^v	19,8 / 29,7 / 34,7 ^{wxs}	24,2 / 27,4 / 30,0 ^w	24,9 / 29,9 / 34,4 ^v	29,8 / 38,8 / 42,1 ^v
Ainitial-erneut poliert	AE _{ab}	10,89 / 14,91 / 20,65 ^x	5,32 / 5,60 / 6,07 ^v	5,69 / 7,12 / 9,27 ^w	5,38 / 5,79 / 5,93 ^v	4,83 / 5,62 / 6,59 ^v
	Ra	-0,008 / 0,009 / 0,015 ^w	-0,015 / 0,003 / 0,011 ^{vs}	-0,008 / -0,003 / 0,012 ^v	-0,007 / 0,002 / 0,015 ^v	-0,004 / 0,000 / 0,004 ^w
Averfärbt-erneut poliert	FOE	-9,7 / -6,6 / -2,9 ^{vs}	-5,5 / 2,5 / 6,2 ^x	-10,9 / -8,4 / -4,9 ^v	-8,3 / -3,9 / 4,8 ^w	-7,0 / 2,0 / 7,0 ^x
	AE _{ab}	0,09 / 0,49 / 0,85 ^v	0,59 / 0,69 / 0,99 ^w	1,39 / 1,50 / 1,82 ^x	0,46 / 0,54 / 0,75 ^v	0,53 / 2,03 / 2,25 ^v
Averfärbt-erneut poliert	Ra	-0,015 / 0,004 / 0,014 ^v	0,009 / 0,017 / 0,050 ^x	-0,007 / 0,007 / 0,023 ^{vs}	-0,004 / 0,013 / 0,060 ^{wxs}	-0,004 / 0,002 / 0,014 ^v
	FOE	26,1 / 30,5 / 35,1 ^w	24,3 / 26,9 / 32,0 ^v	31,9 / 35,7 / 38,9 ^x	29,6 / 33,0 / 36,2 ^x	30,7 / 35,9 / 39,7 ^x
AE _{ab}	10,92 / 14,73 / 20,95 ^v	5,12 / 5,25 / 5,71 ^v	4,58 / 6,07 / 7,91 ^w	5,59 / 5,85 / 6,35 ^w	4,74 / 7,13 / 8,06 ^x	

Tabelle 15 - Deskriptive Statistik des Materials in:joy

* v, w, x, y, z: unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede eines Parameters zwischen den Färbemedien innerhalb des Komposits in:joy und innerhalb eines Politurzustandes. Daher ist die Kennzeichnung waagrecht (zeilenweise) zu verstehen.

Unterschiede zwischen den unterschiedlichen Färbemedien innerhalb eines Politurzustandes für das Komposit in:joy

Innerhalb des Materials in:joy zeigte die Gruppe Rote-Bete-Saft initial die geringste Rauigkeit ($p=0,001-0,038$), gefolgt von der homogenen Gruppe mit den Gruppen Karottensaft, Curry-Lösung und Kaffee ($p=0,650-0,762$). Die Gruppe Rotwein zeigte die höchste Rauigkeit ($p=0,001-0,012$).

Die Oberflächenenergie war initial bei der Gruppe Rotwein am geringsten, die damit mit der Gruppe Kaffee im gleichen Wertebereich lag ($p=0,064$). Die Gruppe Kaffee lag ebenfalls mit der Gruppe Rote-Bete-Saft im gleichen Wertebereich ($p=0,597$), die wiederum mit der Gruppe Karottensaft im gleichen Wertebereich lag ($p=0,089$). Die Gruppe Karottensaft bildete außerdem mit der Gruppe Curry-Lösung einen homogenen Wertebereich ($p=0,363$).

Nach Verfärbung bildeten die Rauigkeiten der Gruppen, die in Karottensaft, Curry-Lösung und Rote-Bete-Saft gelagert wurden, den homogenen Wertebereich mit den geringsten Werten ($p=0,131-0,734$), gefolgt von der homogenen Gruppe bestehend aus den Gruppen Curry-Lösung, Rote-Bete-Saft und Rotwein ($p=0,059-0,734$). Die in Rote-Bete-Saft und Rotwein verfärbten Gruppen lagen ebenfalls mit der in Kaffee verfärbten Gruppe im gleichen Wertebereich, die damit den höchsten Wertebereich darstellten ($p=0,131-0,450$).

Nach 14-tägiger Lagerung in den jeweiligen Färbemedien unterschied sich die Oberflächenenergie jeweils voneinander. Die geringste Oberflächenenergie zeigte in:joy nach Lagerung in Curry-Lösung ($p<0,001$), gefolgt von Kaffee ($p<0,001$), Karottensaft ($p\leq 0,010$) und Rote-Bete-Saft ($p\leq 0,010$) in aufsteigender Reihenfolge. Die höchste Oberflächenenergie verzeichnete in:joy nach Lagerung in Rotwein ($p<0,001$)

Nach erneuter Politur bildeten die Rauigkeiten der Gruppen Karottensaft und Rote-Bete-Saft eine homogene Gruppe ($p=0,970$), gefolgt von den Gruppen Kaffee und Curry-Lösung, die im gleichen Wertebereich lagen ($p=0,334$). Die höchste Rauigkeit verzeichnete die Gruppe Rotwein ($p=0,001-0,034$).

Nach erneuter Politur zeigte die in Karottensaft gelagerte Gruppe die niedrigste Oberflächenenergie ($p\leq 0,023$), gefolgt von der homogenen Gruppe mit den Gruppen Rote-Bete-Saft, Curry-

Lösung und Rotwein ($p=0,472-0,910$). Die Gruppe Kaffee präsentierte die höchste Oberflächenenergie ($p\leq 0,002$).

Bei Betrachtung der Differenz der Rauigkeiten zwischen initialem und verfärbtem Zustand lagen die Gruppen Rotwein, Karottensaft und Curry-Lösung im gleichen und kleinsten Wertebereich ($p=0,096-0,677$). Die in Curry-Lösung gelagerte Gruppe bildete außerdem mit der in Rote-Bete-Saft gelagerten Gruppe einen homogenen Wertebereich ($p=0,121$), während die Rote-Bete-Saft-Gruppe auch mit der Kaffee-Gruppe im gleichen Wertebereich lag ($p=0,406$).

Die Differenz der Oberflächenenergie zwischen initialem und verfärbtem Zustand war bei der in Curry-Lösung verfärbten Gruppe am geringsten ($p\leq 0,005$), gefolgt von der homogenen Gruppe mit Karottensaft- und Kaffee-Verfärbung ($p=0,140$). Die in Kaffee gelagerte Gruppe lag ebenfalls mit der Rote-Bete-Saft-Gruppe im gleichen Wertebereich ($p=0,762$). Nach Rotweinverfärbung zeigte in:joy in diesem Politurzustand die höchste Oberflächenenergie ($p\leq 0,002$).

Die geringsten ΔE -Werte zwischen initialem und verfärbtem Zustand zeigten die Gruppen Rotwein, Kaffee und Rote-Bete-Saft, die eine homogene Gruppe darstellten ($p=0,100-0,762$). Es folgte die Gruppe Karottensaft, die einen höheren ΔE -Wert zeigte als die bisher genannten ($p<0,001$), jedoch von der Curry-Gruppe mit dem höchsten Wert übertroffen wurde ($p<0,001$).

Die Differenz der Rauigkeit zwischen Initialzustand und erneuter Politur teilte sich in zwei Wertebereiche. Im niedrigeren lagen die Gruppen Karottensaft und Kaffee ($p=0,112$), wobei die Gruppe Kaffee ebenfalls mit den Gruppen Rote-Bete-Saft, Curry-Lösung und Rotwein im höheren Bereich lag ($p=0,104-0,880$).

Die Differenz der Oberflächenenergie zwischen Initialzustand und erneuter Politur war bei der Karottensaft-verfärbten Gruppe am geringsten und lag mit der in Curry-Lösung gelagerten Gruppe im gleichen Wertebereich ($p=0,104$). Die Curry-Lösung-Gruppe bildete ebenfalls eine homogene Gruppe mit der Rote-Bete-Saft Gruppe ($p=0,104$), gefolgt von den Gruppen Rotwein und Rote-Bete-Saft, die im gleichen Wertebereich lagen ($p=0,705$).

Der ΔE -Wert war bei den Gruppen Curry-Lösung und Rote-Bete-Saft, die im gleichen Wertebereich lagen, am geringsten ($p=0,405$). Die folgenden Gruppen unterschieden sich davon sowie untereinander und werden in aufsteigender Reihenfolge aufgelistet: Kaffee ($p\leq 0,008$), Karottensaft ($p\leq 0,010$) und Rotwein ($p\leq 0,010$).

Die Gruppe Rotwein zeigte die geringste Rauigkeitsdifferenz zwischen Verfärbung und erneuter Politur und bildete damit zusammen mit den Gruppen Curry-Lösung und Karottensaft einen homogenen Wertebereich ($p=0,450-0,910$). Die Karottensaft-Gruppe lag außerdem mit der Rote-Bete-Saft-Gruppe im gleichen Wertebereich ($p=0,151$), die wiederum mit der Gruppe Kaffee ebenfalls eine homogene Gruppe bildete ($p=0,326$).

Die geringste Oberflächenenergie zwischen Verfärbung und erneuter Politur zeigte in:joy nach Lagerung in Kaffee ($p\leq 0,016$), gefolgt von der Färbung in Curry-Lösung, die größere Werte aufwies als nach Kaffeeverfärbung, jedoch geringere Werte als bei den folgenden Färbemedien ($p=0,001-0,016$). Die Gruppen Rote-Bete-Saft, Karottensaft und Rotwein bildeten eine homogene Gruppe ($p=0,053-0,623$) und stellten den höchsten Wertebereich dar.

Die geringste Farbdifferenz zwischen Verfärbung und erneuter Politur zeigte die in Kaffee gelagerte Gruppe ($p\leq 0,008$), gefolgt von den Gruppen Rote-Bete-Saft und Karottensaft, die im gleichen Wertebereich lagen ($p=0,257$). Einen höheren ΔE -Wert als die bisher genannten Gruppen zeigte die Rotwein-Gruppe ($p\leq 0,016$), die nur von der in Curry-Lösung verfärbten Gruppe mit dem höchsten Wert übertroffen wurde ($p<0,001$).

Deskriptive Statistik mit Minimum / Median / Maximum des Verblendkomposits Signum composite*

Material	Curry-Lösung	Kaffee	Kartensaft	Rote-Bete-Saft	Rotwein	
initial	Ra	0,041 / 0,068 / 0,075 ^v	0,059 / 0,064 / 0,084 ^v	0,046 / 0,057 / 0,075 ^v	0,047 / 0,062 / 0,074 ^v	
	FOE	39,8 / 41,6 / 45,8 ^w	40,0 / 41,9 / 46,6 ^w	39,5 / 41,3 / 44,6 ^w	32,7 / 37,1 / 40,6 ^v	43,2 / 45,8 / 48,1 ^x
verfärbt	Ra	0,055 / 0,075 / 0,095 ^w	0,076 / 0,086 / 0,098 ^x	0,115 / 0,144 / 0,186 ^v	0,068 / 0,102 / 0,117 ^x	0,051 / 0,061 / 0,074 ^v
	FOE	40,9 / 62,1 / 73,0 ^v	72,2 / 73,3 / 73,9 ^x	70,8 / 72,7 / 73,8 ^w	74,2 / 75,1 / 75,8 ^v	76,2 / 77,1 / 77,4 ^z
erneut poliert	Ra	0,054 / 0,067 / 0,083 ^{v,w}	0,060 / 0,065 / 0,092 ^w	0,057 / 0,073 / 0,089 ^w	0,054 / 0,062 / 0,074 ^v	0,051 / 0,061 / 0,071 ^v
	FOE	36,3 / 42,3 / 45,6 ^{v,w}	39,8 / 46,7 / 48,5 ^x	29,2 / 39,5 / 47,3 ^v	39,5 / 42,0 / 45,5 ^w	37,2 / 41,8 / 48,6 ^{w,x}
Ainitial-verfärbt	Ra	0,000 / 0,012 / 0,025 ^w	0,010 / 0,021 / 0,026 ^{w,x}	0,061 / 0,078 / 0,127 ^v	0,002 / 0,035 / 0,059 ^x	-0,003 / 0,001 / 0,007 ^v
	FOE	0,4 / 16,4 / 31,5 ^v	26,8 / 31,2 / 33,3 ^w	27,2 / 31,6 / 33,2 ^w	34,5 / 38,0 / 41,5 ^w	28,2 / 31,2 / 33,9 ^x
AE_{ab}		8,91 / 11,01 / 32,48 ^z	5,50 / 6,17 / 8,01 ^v	1,48 / 1,67 / 2,24 ^v	4,18 / 4,56 / 5,15 ^x	3,54 / 4,02 / 4,68 ^w
	Ra	-0,010 / 0,003 / 0,021 ^{v,w}	-0,006 / 0,001 / 0,010 ^w	0,000 / 0,014 / 0,030 ^x	-0,013 / 0,004 / 0,012 ^w	-0,004 / 0,000 / 0,005 ^v
Ainitial-erneut poliert	FOE	-4,7 / -1,7 / 5,8 ^v	-2,4 / 5,2 / 7,6 ^w	-11,6 / -2,3 / 6,2 ^v	-1,1 / 5,3 / 9,8 ^w	-9,2 / -4,3 / 5,1 ^v
	AE_{ab}	-1,47 / 1,06 / 5,52 ^{v,w,x}	0,54 / 0,66 / 0,98 ^w	0,29 / 0,51 / 1,03 ^v	1,48 / 1,56 / 1,88 ^x	0,41 / 0,56 / 0,88 ^{v,w}
Averfärbt-erneut poliert	Ra	-0,008 / 0,003 / 0,033 ^{v,w}	0,002 / 0,018 / 0,028 ^w	0,051 / 0,066 / 0,114 ^v	-0,004 / 0,032 / 0,059 ^x	-0,003 / 0,000 / 0,006 ^v
	FOE	-3,3 / 18,8 / 35,4 ^v	25,2 / 26,3 / 34,0 ^v	26,5 / 33,3 / 43,0 ^w	29,7 / 33,0 / 36,3 ^w	27,6 / 34,8 / 40,1 ^w
AE_{ab}	9,32 / 10,85 / 28,70 ^v	5,50 / 5,68 / 21,86 ^v	1,41 / 1,73 / 2,31 ^v	3,86 / 4,16 / 4,38 ^w	3,71 / 4,12 / 4,62 ^w	

Tabelle 16 - Deskriptive Statistik des Materials Signum composite

* v, w, x, y, z: unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede eines Parameters zwischen den Färbemedien innerhalb des Komposits Signum composite und innerhalb eines Politurzustandes. Daher ist die Kennzeichnung waagrecht (zeilenweise) zu verstehen.

Unterschiede zwischen den unterschiedlichen Färbemedien innerhalb eines Politurzustandes für das Komposit Signum composite

Innerhalb des Materials Signum composite unterschieden sich die Rauigkeiten der unterschiedlichen Gruppen initial nicht voneinander, alle lagen im gleichen Wertebereich ($p=0,131-0,820$).

Bezüglich der Oberflächenenergie zeigte initial die Rote-Bete-Saft-Gruppe die geringste Oberflächenenergie ($p<0,001$), gefolgt von der Gruppe Karottensaft, Curry-Lösung und Kaffee, die eine homogene Gruppe bildeten ($p=0,405-0,762$). Die Gruppe Rotwein verzeichnete die höchsten Werte ($p\leq 0,005$).

Nach Verfärbung zeigte die in Rotwein gelagerte Gruppe die geringste Rauigkeit ($p\leq 0,019$), gefolgt von der homogenen Gruppe mit den in Curry-Lösung und Kaffee gelagerten Gruppen ($p=0,059$). Die Gruppe Kaffee lag ebenfalls mit der in Rote-Bete-Saft gelagerten Gruppe im gleichen Wertebereich ($p=0,130$). Die in Karottensaft gelagerte Gruppe zeigte die höchsten Werte ($p<0,001$).

Die Oberflächenenergie der Gruppen unterschiedlicher Färbemedien unterschied sich jeweils voneinander. Den kleinsten Wert zeigte die Gruppe, die in Curry-Lösung gelagert wurde ($p\leq 0,002$), gefolgt von den Gruppen Karottensaft ($p\leq 0,049$), Kaffee ($p\leq 0,049$) und Rote-Bete-Saft ($p<0,001$). Die in Rotwein gelagerte Gruppe zeigte die höchste Oberflächenenergie ($p<0,001$).

Nach erneuter Politur bildeten die Gruppen Rotwein, Rote-Bete-Saft, Curry-Lösung und Kaffee den niedrigeren homogenen Wertebereich ($p=0,089-0,734$), wobei die Curry-Lösung- und Kaffee-Gruppe ebenfalls mit der in Karottensaft gefärbten Gruppe im gleichen Wertebereich lag ($p=0,070-0,734$).

Nach der erneuten Politur zeigte die in Karottensaft gelagerte Gruppe die geringste Oberflächenenergie und lag im gleichen Wertebereich mit der Gruppe Curry-Lösung ($p=0,112$). Diese bildete ebenfalls eine homogene Gruppe mit der Gruppe Rote-Bete-Saft und Rotwein ($p=0,705-0,850$), wobei die Rotwein-verfärbte Gruppe auch mit der Kaffee-verfärbten Gruppe, die den höchsten Wert aufwies, im gleichen Wertebereich lag ($p=0,075$).

Bei Betrachtung der Differenz der Rauigkeit zwischen initialem und verfärbtem Zustand zeigte die in Rotwein gelagerte Gruppe die geringste Rauigkeit ($p \leq 0,005$), gefolgt von der homogenen Gruppe mit den in Curry-Lösung und Kaffee verfärbten Gruppen ($p = 0,104$). Die Gruppe Kaffee lag ebenfalls mit der in Rote-Bete-Saft gelagerten Gruppe im gleichen Wertebereich ($p = 0,059$). Die in Karottensaft gelagerte Gruppe zeigte die höchsten Werte ($p < 0,001$).

Die Oberflächenenergiedifferenz zwischen initialem und verfärbtem Zustand war in der Gruppe Curry-Lösung am geringsten ($p \leq 0,013$), gefolgt von der homogenen Gruppe mit der Kaffee-, Karottensaft- und Rotwein-Gruppe ($p = 0,762-0,970$). Die in Rote-Bete-Saft verfärbte Gruppe zeigte die geringste Oberflächenenergie ($p < 0,001$).

Die ΔE -Werte zwischen initialem und verfärbtem Zustand unterschieden sich bei Signum composite jeweils voneinander. Den geringsten Wert präsentiert die Gruppe Karottensaft ($p < 0,001$), in aufsteigender Reihenfolge gefolgt von den Gruppen Rotwein ($p \leq 0,003$), Rote-Bete-Saft ($p \leq 0,003$), Kaffee ($p < 0,001$) und Curry-Lösung ($p < 0,001$).

Bezüglich der Rauigkeitsdifferenz zwischen initialem und erneut poliertem Zustand zeigte die geringsten Werte die Rotwein-Gruppe, die mit den Gruppen Rote-Bete-Saft und Curry-Lösung im gleichen Wertebereich lag ($p = 0,545-0,597$). Die durch Curry-Lösung verfärbte Gruppe bildete ebenfalls mit der Rote-Bete-Saft-verfärbten und der kaffeeverfärbten Gruppe einen homogenen Wertebereich ($p = 0,545-0,880$). Die Gruppe Karottensaft zeigte die höchste Rauigkeit ($p = 0,001-0,023$).

Die Differenz der Oberflächenenergie zwischen initialem und erneut poliertem Zustand teilte sich in zwei homogenen Wertebereiche. Den niedrigeren verzeichnete die homogene Gruppe mit der Rotwein-, Karottensaft- und Curry-Lösung-Gruppe ($p = 0,130-0,791$). Die höheren Werten zeigte der Wertebereich mit der in Kaffee- und Rote-Bete-Saft verfärbten Gruppen ($p = 0,496$).

Den geringsten ΔE -Wert zwischen Initialzustand und erneuter Politur wies die in Karottensaft gelagerte Gruppe auf und lag mit den in Rotwein- und Curry-Lösung gelagerten Gruppen im gleichen Wertebereich ($p = 0,096-0,241$). Die Rotwein- und Curry-Lösung-Gruppe bildeten darüber hinaus auch mit der Kaffee-Gruppe einen homogenen Wertebereich ($p = 0,104-0,384$), die Gruppe Curry-Lösung auch mit der Gruppe Rote-Bete-Saft, die den höchsten ΔE -Wert verzeichnete ($p = 0,130$).

Die Rauigkeitsdifferenz zwischen Verfärbung und erneuter Politur zeigte die geringsten Werte bei der Rotwein-Gruppe, die mit der Gruppe Curry-Lösung im gleichen Wertebereich lag ($p=0,173$). Die in Curry-Lösung gelagerte Gruppe bildete ebenfalls mit der kaffeeverfärbten Gruppe einen homogenen Wertebereich ($p=0,256$). Die Gruppe Rote-Bete-Saft zeigte höhere Rauigkeit als die bisher genannten Gruppen ($p\leq 0,019$) und wurde nur durch die Gruppe, die in Karottensaft gelagert wurde und die höchste Rauigkeit zeigte, übertroffen ($p<0,001$).

Bezüglich der Oberflächenenergie ließen sich die Gruppen in zwei homogene Gruppen aufteilen: Die geringeren Differenzen zeigten die Gruppen Curry-Lösung und Kaffee ($p=0,096$), die größere Differenzen vereinte die homogene Gruppe mit den in Rote-Bete-Saft, Karottensaft und Rotwein gelagerten Gruppen ($p=0,241-0,970$).

Die Farbdifferenz zwischen verfärbtem und erneut poliertem Zustand fiel in der Gruppe, die in Karottensaft gelagert wurde, am geringsten aus ($p<0,001$), gefolgt von der Rotwein- und Rote-Bete-Saft-Gruppe, die im gleichen Wertebereich lagen ($p=0,705$). Die in Kaffee gelagerte Gruppe zeigte einen höheren ΔE -Wert als die bisher genannten Gruppen ($p<0,001$) und wurde nur von der in Curry-Lösung gelagerten Gruppe, die den höchsten ΔE -Wert aufwies, übertroffen ($p<0,001$).

Deskriptive Statistik mit Minimum / Median / Maximum des Verblendkompositis SR Nexco*

Material	Curry-Lösung	Kaffee	Karottensaft	Rote-Bete-Saft	Rotwein	
initial	Ra	0,070 / 0,077 / 0,091 ^v	0,066 / 0,080 / 0,097 ^v	0,067 / 0,075 / 0,088 ^v	0,072 / 0,079 / 0,093 ^v	0,070 / 0,080 / 0,104 ^v
	FOE	43,0 / 45,7 / 53,5 ^{w,x}	37,3 / 41,8 / 45,8 ^v	44,4 / 47,5 / 52,0 ^x	38,4 / 43,4 / 44,9 ^v	39,1 / 44,5 / 50,2 ^w
verfärbt	Ra	0,075 / 0,092 / 0,127 ^v	0,098 / 0,111 / 0,146 ^w	0,072 / 0,081 / 0,134 ^v	0,104 / 0,122 / 0,168 ^w	0,076 / 0,092 / 0,101 ^v
	FOE	67,6 / 69,6 / 71,7 ^v	72,1 / 73,2 / 73,7 ^x	70,1 / 71,6 / 73,5 ^w	72,7 / 73,4 / 75,2 ^x	73,0 / 75,3 / 75,8 ^v
erneut poliert	Ra	0,075 / 0,090 / 0,094 ^{w,x}	0,083 / 0,092 / 0,106 ^x	0,072 / 0,080 / 0,088 ^v	0,079 / 0,091 / 0,129 ^x	0,071 / 0,080 / 0,094 ^{w,x}
	FOE	35,2 / 39,5 / 43,4 ^v	39,6 / 41,6 / 43,3 ^{w,x}	39,6 / 42,4 / 45,0 ^w	38,8 / 43,2 / 46,3 ^w	38,4 / 41,8 / 44,6 ^{w,x}
Ainitial-verfärbt	Ra	-0,006 / 0,011 / 0,049 ^v	0,017 / 0,033 / 0,065 ^w	-0,014 / 0,007 / 0,060 ^v	0,017 / 0,046 / 0,088 ^w	-0,003 / 0,009 / 0,027 ^v
	FOE	15,8 / 23,7 / 27,3 ^v	27,3 / 31,5 / 35,8 ^w	21,2 / 24,3 / 29,1 ^v	28,3 / 30,3 / 35,7 ^w	24,5 / 30,6 / 36,3 ^w
Ainitial-erneut poliert	AE _{ab}	13,55 / 18,55 / 24,03 ^z	4,09 / 4,28 / 5,03 ^w	4,17 / 6,36 / 6,90 ^x	4,09 / 10,55 / 10,73 ^v	2,10 / 3,66 / 4,75 ^v
	Ra	0,000 / 0,008 / 0,019 ^{w,x}	0,001 / 0,011 / 0,025 ^{w,x}	-0,008 / 0,005 / 0,012 ^v	-0,004 / 0,012 / 0,035 ^w	-0,030 / -0,002 / 0,021 ^v
Averfärbt-erneut poliert	FOE	-13,2 / -7,5 / -0,6 ^v	-4,5 / 0,6 / 4,6 ^x	-11,0 / -4,7 / 0,6 ^{w,x}	-4,4 / 0,2 / 4,6 ^x	-7,3 / -3,1 / 2,6 ^w
	AE _{ab}	0,50 / 0,61 / 1,06 ^v	0,73 / 1,09 / 2,05 ^w	1,24 / 1,54 / 1,74 ^x	1,13 / 2,03 / 2,31 ^v	0,87 / 1,11 / 1,21 ^w
Averfärbt-erneut poliert	Ra	-0,009 / 0,002 / 0,033 ^v	0,000 / 0,020 / 0,060 ^{w,x}	-0,014 / 0,001 / 0,054 ^v	0,007 / 0,029 / 0,074 ^x	-0,015 / 0,011 / 0,027 ^{w,x}
	FOE	27,4 / 30,2 / 33,6 ^v	29,9 / 31,5 / 34,1 ^v	27,0 / 29,4 / 32,2 ^v	26,6 / 31,1 / 34,3 ^v	30,1 / 33,5 / 36,7 ^w
AE _{ab}	13,82 / 19,05 / 24,58 ^z	4,01 / 4,71 / 5,11 ^w	4,68 / 7,04 / 7,59 ^x	10,24 / 10,54 / 12,04 ^v	2,05 / 3,97 / 4,38 ^v	

Tabelle 17 - Deskriptive Statistik des Materials SR Nexco

* v, w, x, y, z: unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede eines Parameters zwischen den Färbemedien innerhalb des Komposits SR Nexco und innerhalb eines Politurzustandes. Daher ist die Kennzeichnung waagrecht (zeilenweise) zu verstehen.

Unterschiede zwischen den unterschiedlichen Färbemedien innerhalb eines Politurzustandes für das Komposit SR Nexco

Initial unterschied sich die Rauigkeit der unterschiedlichen Gruppen bei SR Nexco nicht voneinander, alle lagen im gleichen Wertebereich ($p=0,212-0,880$).

Die Gruppen Rote-Bete-Saft und Kaffee bildeten die homogene Gruppe mit der geringsten initialen Oberflächenenergie ($p=0,070$), gefolgt von den Gruppen Rotwein und Curry-Lösung, die ebenfalls eine homogene Gruppe bildeten ($p=0,325$). Die Curry-Lösung-Gruppe lag ebenfalls mit der Karottensaft-Gruppe im gleichen Wertebereich ($p=0,059$).

Nach 14-tägiger Lagerung in den entsprechenden Färbemedien lag die Rauigkeit der in Karottensaft, Rotwein und Curry-Lösung gelagerten Gruppen im gleichen Wertebereich ($p=0,112-0,623$). Die in Kaffee und Rote-Bete-Saft gelagerten Gruppen bildeten ebenfalls eine homogene Gruppe und verzeichneten die höheren Rauigkeiten ($p=0,256$).

Die Oberflächenenergie der in Curry-Lösung gelagerten Gruppe war am höchsten ($p\leq 0,002$), gefolgt von der Karottensaft-verfärbten Gruppe, deren Oberflächenenergie höher war als die der Curry-Lösung-Gruppe, jedoch unter den Werten der folgenden Gruppen lag ($p\leq 0,008$). Die Gruppen Kaffee und Rote-Bete-Saft lagen im gleichen Wertebereich ($p=0,287$) und wurden nur von der Rotwein-verfärbten Gruppe mit der höchsten freien Oberflächenenergie übertroffen ($p\leq 0,003$).

Nach erneuter Politur zeigte die Gruppe Karottensaft die niedrigste Rauigkeit und lag mit der Rotwein-Gruppe im gleichen Wertebereich ($p=0,762$). Die Gruppe Rotwein lag darüber hinaus im gleichen Wertebereich mit der Gruppe Curry-Lösung ($p=0,076$), die wiederum mit den in Kaffee und Rote-Bete-Saft verfärbten Gruppen einen homogenen Wertebereich bildete ($p=0,307-0,705$).

Nach erneuter Politur lag die Oberflächenenergie der Gruppe Curry-Lösung im gleichen Wertebereich wie die der Rotwein- und Kaffee-Gruppe ($p=0,059-0,940$). Die Gruppen Rotwein und Kaffee lagen ebenfalls im gleichen Wertebereich mit den Gruppen Karottensaft und Rote-Bete-Saft ($p=0,140-0,940$).

Bei Betrachtung der Differenz zwischen initialem und verfärbtem Zustand verteilten sich die Rauigkeiten der Gruppen in zwei homogene Wertebereiche. Dem Bereich mit den niedrigeren Rauigkeiten gehörten die Gruppen Karottensaft, Rotwein und Curry-Lösung an ($p=0,650-0,880$). Die Gruppe Kaffee lag mit der Gruppe Rote-Bete-Saft im gleichen, höheren Wertebereich ($p=0,174$).

Zwischen Initialzustand und Verfärbung zeigten die Gruppen Curry-Lösung und Karottensaft die niedrigste Oberflächenenergie und bildeten eine homogene Gruppe ($p=0,427$), gefolgt von den übrigen Gruppen, die in einem gemeinsamen Wertebereich lagen ($p=0,112-0,880$).

Die ΔE -Werte zwischen initialem und verfärbtem Zustand unterschieden sich bei SR Nexco jeweils voneinander. Den geringsten Wert präsentierte die Gruppe Rotwein ($p \leq 0,002$), in aufsteigender Reihenfolge gefolgt von den Gruppen Kaffee ($p \leq 0,002$), Karottensaft ($p \leq 0,002$), Rote-Bete-Saft ($p \leq 0,002$) und Curry-Lösung ($p < 0,001$).

Der Unterschied der Rauigkeit zwischen initialem und erneut poliertem Zustand fiel bei der in Rotwein gelagerten Gruppe am geringsten aus und lag damit mit den Gruppen Karottensaft, Curry-Lösung und Kaffee im gleichen Wertebereich ($p=0,070-0,496$). Die Curry-Lösung und Kaffee-verfärbte Gruppen bildeten außerdem eine homogene Gruppe mit der Rote-Bete-Saft-Gruppe ($p=0,345-0,597$).

Die Oberflächenenergiedifferenz zwischen initialem und erneut poliertem Zustand war in der in Curry-Lösung gelagerten Gruppe am geringsten und lag mit der karottensaftverfärbten Gruppe im gleichen Wertebereich ($p=0,472$). Letztere bildete auch mit der Rotwein-Gruppe eine homogene Gruppe ($p=0,151$). Die in Rote-Bete-Saft gelagerte Gruppe lag mit der in Kaffee verfärbten Gruppe im gleichen Wertebereich ($p=0,910$).

Die Farbdifferenz zwischen initialem und erneut poliertem Zustand fiel bei der in Curry-Lösung gelagerten Gruppe am geringsten aus ($p < 0,001$), gefolgt von den Gruppen Rotwein und Kaffee, die eine homogene Gruppe bildeten ($p=0,596$). Die in Karottensaft gelagerte Gruppe verzeichnete einen höheren ΔE -Wert als die bisher genannten Gruppen ($p \leq 0,028$) und wurde nur von der Rote-Bete-Saft-Gruppe übertroffen, die den höchsten ΔE -Wert präsentierte ($p \leq 0,002$).

Zwischen Verfärbung und erneuter Politur bildeten die Rauigkeiten der Gruppen Curry-Lösung, Karottensaft und Rotwein eine homogene Gruppe ($p=0,273-0,791$), wobei die Rotwein-Gruppe ebenfalls im gleichen Wertebereich mit Kaffee lag ($p=0,131$). Die in Kaffee gelagerte

Gruppe bildete wiederum mit der in Rote-Bete-Saft verfärbten Gruppe einen homogenen Wertebereich ($p=0,212$).

Die Oberflächenenergie zwischen Verfärbung und erneuter Politur teilte sich in zwei homogene Gruppen auf, wobei die in Karottensaft, Curry-Lösung, Rote-Bete-Saft und Kaffee gelagerten Gruppen die niedrigeren Differenzen verzeichneten ($p=0,096-0,545$) und die in Rotwein gelagerte Gruppe den höchsten Wert präsentierte ($p\leq 0,019$).

Die ΔE -Werte zwischen Verfärbung und erneuter Politur unterschieden sich bei SR Nexco jeweils voneinander. Den geringsten Wert präsentierte die Gruppe Rotwein ($p<0,001$), in aufsteigender Reihenfolge gefolgt von den Gruppen Kaffee ($p\leq 0,001$), Karottensaft ($p<0,001$), Rote-Bete-Saft ($p<0,001$) und Curry-Lösung ($p<0,001$).

Deskriptive Statistik mit Minimum / Median / Maximum der Lithiumdisilikatkeramik IPS e.max CAD*

Material	Curry-Lösung	Kaffee	Kartottensaft	Rote-Bete-Saft	Rotwein	
initial	Ra	0,045 / 0,053 / 0,061 ^v	0,047 / 0,050 / 0,063 ^v	0,045 / 0,052 / 0,063 ^v	0,040 / 0,052 / 0,066 ^v	0,044 / 0,050 / 0,072 ^v
	FOE	46,5 / 50,2 / 52,6 ^w	50,0 / 54,3 / 57,6 ^x	32,9 / 37,9 / 53,2 ^v	48,7 / 55,8 / 59,4 ^x	47,5 / 53,8 / 59,9 ^x
verfärbt	Ra	0,046 / 0,053 / 0,057 ^v	0,055 / 0,073 / 0,124 ^w	0,049 / 0,065 / 0,097 ^w	0,059 / 0,084 / 0,105 ^w	0,047 / 0,054 / 0,067 ^v
	FOE	69,1 / 71,0 / 72,9 ^v	69,7 / 71,3 / 73,0 ^v	69,6 / 71,8 / 72,6 ^v	73,4 / 74,9 / 75,8 ^w	74,4 / 75,7 / 76,2 ^x
erneut poliert	Ra	0,048 / 0,052 / 0,056 ^v	0,051 / 0,056 / 0,060 ^w	0,056 / 0,062 / 0,074 ^x	0,053 / 0,057 / 0,068 ^{w,x}	0,056 / 0,059 / 0,074 ^x
	FOE	51,5 / 54,4 / 58,6 ^x	49,5 / 53,5 / 56,3 ^{w,x}	37,5 / 41,7 / 46,9 ^v	44,9 / 51,3 / 56,7 ^w	41,8 / 52,4 / 60,9 ^{w,x}
Ainitial-verfärbt	Ra	-0,007 / -0,001 / 0,010 ^v	0,007 / 0,024 / 0,073 ^w	-0,010 / 0,012 / 0,047 ^{w,w}	0,002 / 0,027 / 0,058 ^w	-0,025 / 0,003 / 0,020 ^v
	FOE	17,2 / 20,3 / 25,3 ^w	13,2 / 17,1 / 22,7 ^v	17,6 / 33,5 / 39,0 ^x	14,4 / 18,5 / 26,7 ^{w,w}	15,5 / 22,1 / 27,8 ^w
Ainitial-erneut poliert	AE _{ab}	0,70 / 0,86 / 1,14 ^v	2,08 / 3,13 / 5,09 ^w	5,59 / 6,72 / 9,68 ^x	4,72 / 4,96 / 5,46 ^v	3,22 / 3,66 / 5,07 ^x
	Ra	-0,010 / -0,002 / 0,010 ^v	-0,008 / 0,006 / 0,013 ^{w,w}	-0,001 / 0,010 / 0,029 ^w	-0,008 / 0,005 / 0,021 ^{v,w}	-0,006 / 0,009 / 0,014 ^w
Averfärbt-erneut poliert	FOE	1,2 / 4,3 / 9,3 ^w	-6,3 / -0,7 / 5,2 ^v	-11,7 / 2,4 / 12,1 ^{w,w}	-14,5 / -3,2 / 7,9 ^v	-12,6 / 1,2 / 9,9 ^{w,w}
	AE _{ab}	0,49 / 0,69 / 1,09 ^v	0,47 / 0,64 / 0,95 ^v	1,48 / 1,54 / 1,59 ^w	1,97 / 2,34 / 2,82 ^x	1,98 / 2,51 / 2,72 ^x
Averfärbt-erneut poliert	Ra	-0,008 / 0,000 / 0,005 ^v	-0,005 / 0,019 / 0,067 ^w	-0,017 / 0,003 / 0,037 ^{v,w}	-0,003 / 0,020 / 0,052 ^w	-0,023 / -0,005 / 0,011 ^v
	FOE	10,6 / 16,2 / 20,2 ^v	14,9 / 18,2 / 21,9 ^v	23,1 / 29,2 / 34,0 ^x	18,8 / 23,9 / 28,9 ^w	14,8 / 22,5 / 34,4 ^{w,x}
AE _{ab}	0,62 / 0,77 / 0,89 ^v	2,15 / 3,25 / 5,23 ^w	4,19 / 5,38 / 8,37 ^x	4,58 / 4,79 / 5,26 ^x	3,97 / 4,69 / 5,91 ^x	

Tabelle 18 - Deskriptive Statistik des Materials IPS e.max CAD

* v, w, x, y, z: unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede eines Parameters zwischen den Färbemedien innerhalb der Keramik IPS e.max CAD und innerhalb eines Politurzustandes. Daher ist die Kennzeichnung waagrecht (zeilenweise) zu verstehen.

Unterschiede zwischen den unterschiedlichen Färbemedien innerhalb eines Politurzustandes für die Keramik IPS e.max CAD

Initial unterschied sich die Rauigkeit der unterschiedlichen Gruppen bei IPS e.max CAD nicht voneinander, alle lagen im gleichen Wertebereich ($p=0,226-0,880$).

Die Oberflächenenergie von IPS e.max CAD zeigte sich initial am geringsten bei der Gruppe Karottensaft ($p\leq 0,041$). Es folgt die Gruppe Curry-Lösung, die eine höhere Oberflächenenergie aufwies als die Karottensaft-Gruppe ($p=0,001-0,041$), jedoch eine kleinere Oberflächenenergie zeigte als die Gruppen Rotwein, Kaffee und Rote-Bete-Saft, die eine homogene Gruppe bildeten ($p=0,226-0,406$).

Nach 14-tätiger Lagerung in den entsprechenden Färbemedien lagen die Rauigkeiten der in Curry-Lösung und Karottensaft gelagerten Gruppen im gleichen Wertebereich ($p=0,325$). Die Gruppen Karottensaft, Rote-Bete-Saft und Kaffee bildeten eine homogene Gruppe, die die höheren Rauigkeiten beinhaltete ($p=0,186-0,821$).

Die niedrigste Oberflächenenergie verzeichnete der homogen Wertebereich mit den Gruppen Curry-Lösung, Kaffee und Karottensaft ($p=0,103-0,791$), gefolgt von der Rote-Bete-Saft-Gruppe, die eine höhere Oberflächenenergie als die genannten Gruppen aufwies ($p\leq 0,014$). Nur die in Rotwein gelagerte Gruppe übertraf alle anderen Gruppen mit dem höchsten Wert ($p\leq 0,001-0,014$).

Nach erneuter Politur wies die in Curry-Lösung gelagerte Gruppe die geringste Rauigkeit auf ($p\leq 0,023$), gefolgt von den Gruppen Kaffee und Rote-Bete-Saft, die im gleichen Wertebereich lagen ($p=0,162$). Die in Rote-Bete-Saft gelagerte Gruppe bildete darüber hinaus mit den in Rotwein- und Karottensaft-verfärbten Gruppen eine homogene Gruppe ($p=0,173-0,659$).

Die Oberflächenenergie war nach erneuter Politur bei der in Karottensaft gelagerten Gruppe am niedrigsten ($p< 0,001$), gefolgt von den Gruppen Rote-Bete-Saft, Rotwein und Kaffee, die eine homogene Gruppe bildeten ($p=0,257-0,850$). Die Rotwein- und Kaffeegruppe lagen ebenfalls mit der Gruppe Curry-Lösung im gleichen Wertebereich ($p=0,290-0,850$).

Bei der Betrachtung der Differenz zwischen initialem und verfärbtem Zustand teilten sich die Rauigkeiten in zwei homogene Gruppen auf. Die niedrigeren Werte verzeichneten die Gruppen Curry-Lösung, Rotwein und Karottensaft, die im gleichen Wertebereich lagen ($p=0,054-0,186$), die homogene Gruppe mit den höheren Rauigkeiten bildeten die Gruppen Karottensaft, Rote-Bete-Saft und Kaffee ($p=0,119-0,762$).

Die Oberflächenenergiedifferenz zwischen initialem und verfärbtem Zustand fiel bei den Gruppen Kaffee und Rote-Bete-Saft, die im gleichen Wertebereich lagen, am geringsten aus ($p=0,064$), gefolgt von der homogenen Gruppe mit den Gruppe Rote-Bete-Saft, Curry-Lösung und Rotwein ($p=0,089-0,290$). Die höchste Differenz verzeichnete die Gruppe, die in Karottensaft gelagert wurde ($p=0,001-0,034$).

Die ΔE -Werte zwischen initialem und verfärbtem Zustand unterschieden sich bei IPS e.max CAD jeweils voneinander. Den geringsten Wert präsentierte die Gruppe Curry-Lösung ($p<0,001$), in aufsteigender Reihenfolge gefolgt von den Gruppen Kaffee ($p\leq 0,019$), Rotwein ($p\leq 0,019$), Rote-Bete-Saft ($p\leq 0,004$) und Karottensaft ($p<0,001$).

Die Differenz der Rauigkeit zwischen Initialzustand und erneuter Politur war bei der Gruppe Curry-Lösung am geringsten, die damit im gleichen Wertebereich mit den Gruppen Kaffee und Rote-Bete-Saft lag ($p=0,059-0,623$). Die Kaffee- und Rote-Bete-Saft-Gruppe bildeten ebenfalls einen homogenen Wertebereich mit den Gruppen Rotwein und Karottensaft ($p=0,173-0,791$).

Bei der Betrachtung der Differenz zwischen Verfärbung und erneuter Politur teilten sich die Oberflächenenergiedifferenzen in zwei homogene Gruppen auf. Die niedrigeren Werte verzeichneten die Gruppen Rote-Bete-Saft, Kaffee, Rotwein und Karottensaft, die im gleichen Wertebereich lagen ($p=0,186-0,850$), die homogene Gruppe mit den höheren Rauigkeiten bildeten die Gruppen Rotwein, Karottensaft und Curry-Lösung ($p=0,096-0,384$).

Die Farbdifferenz zwischen initialem und erneut poliertem Zustand fiel in der Gruppe Kaffee am geringsten aus, die damit mit der in Curry-Lösung gelagerten Gruppe im gleichen Wertebereich lag ($p=0,570$). Es folgt die Gruppe Karottensaft, die einen höheren ΔE -Wert als die genannten beiden Gruppen aufwies ($p<0,001$), jedoch einen niedrigeren Wert als die Gruppen Rote-Bete-Saft und Rotwein, die eine homogene Gruppe bildeten ($p=0,406$).

Bei der Betrachtung der Differenz zwischen Verfärbung und erneuter Politur teilten sich die Rauigkeiten in zwei homogene Gruppen auf. Die niedrigeren Werte verzeichneten die Gruppen Rotwein, Curry-Lösung, und Karottensaft, die im gleichen Wertebereich lagen ($p=0,112-$

0,545). Die homogene Gruppe mit den höheren Rauigkeiten bildeten die Gruppen Karottensaft, Rote-Bete-Saft und Kaffee ($p=0,096-0,999$).

Bei der Oberflächenenergie gruppierten sich die Gruppen Curry-Lösung und Kaffee zu einer homogenen Gruppe ($p=0,226$), gefolgt von der Rote-Bete-Saft-Gruppe, die mit der Rotwein-Gruppe im gleichen Wertebereich lag ($p=0,940$). Die in Rotwein gelagerte Gruppe lag ebenfalls mit der Karottensaft-verfärbten Gruppe im gleichen Wertebereich ($p=0,059$).

Der ΔE -Wert zwischen Verfärbung und erneuter Politur fiel bei der Curryverfärbung am geringsten aus ($p<0,001$), gefolgt von der Kaffee-verfärben Gruppe, die einen höheren Wert als die Curry-Lösung-Gruppe aufwies ($p\leq 0,002$). Die drei Gruppen Rotwein, Rote-Bete-Saft und Karottensaft bildeten eine homogene Gruppe, die die höchsten Werten verzeichnete ($p=0,174-0,545$).

5.2 Deskriptive Statistik der Abrasionsbeständigkeit

Zunächst wurde die deskriptive Statistik der Ergebnisse tabellarische dargestellt und beschrieben. Anschließend wurde die Korrelation zwischen Höhen- und Volumenverlust dargestellt.

Deskriptive Statistik mit Minimum / Median / Maximum der Abrasionsparameter und Rauigkeit*

	Ceramage	dialog Vario	Gradia plus	in:joy	Signum compo-site	SR Nexco	IPS e:max CAD
Höhenverlust Material [mm]	0,160 / 0,235 / 0,300 ^b	0,200 / 0,235 / 0,370 ^{b,c}	0,200 / 0,260 / 0,310 ^{c,d}	0,130 / 0,230 / 0,280 ^b	0,130 / 0,225 / 0,280 ^b	0,210 / 0,285 / 0,340 ^d	0,070 / 0,165 / 0,230 ^a
Höhenverlust Antagonist [mm]	0,150 / 0,175 / 0,280 ^b	0,160 / 0,220 / 0,340 ^c	0,140 / 0,190 / 0,380 ^{b,c}	0,120 / 0,140 / 0,180 ^a	0,090 / 0,145 / 0,200 ^a	0,100 / 0,145 / 0,200 ^a	0,180 / 0,250 / 0,370 ^d
Höhenverlust Summe [mm]	0,310 / 0,415 / 0,500 ^b	0,360 / 0,470 / 0,590 ^c	0,340 / 0,460 / 0,690 ^{b,c}	0,260 / 0,375 / 0,460 ^a	0,240 / 0,375 / 0,450 ^a	0,320 / 0,425 / 0,530 ^b	0,250 / 0,430 / 0,550 ^{a,b}
Volumenverlust Material [mm ³]	0,140 / 0,245 / 0,420 ^{b,c}	0,250 / 0,330 / 0,440 ^d	0,210 / 0,315 / 0,490 ^d	0,070 / 0,225 / 0,340 ^{b,c}	0,080 / 0,210 / 0,320 ^{a,b}	0,100 / 0,283 / 0,440 ^{c,d}	0,025 / 0,165 / 0,380 ^a
Volumenverlust Antagonist [mm ³]	0,150 / 0,180 / 0,325 ^b	0,200 / 0,285 / 0,400 ^c	0,150 / 0,235 / 0,365 ^b	0,085 / 0,123 / 0,170 ^a	0,070 / 0,125 / 0,180 ^a	0,050 / 0,130 / 0,200 ^a	0,160 / 0,340 / 0,560 ^c
Volumenverlust Summe [mm ³]	0,290 / 0,425 / 0,745 ^{c,d}	0,450 / 0,643 / 0,810 ^e	0,360 / 0,563 / 0,735 ^{d,e}	0,160 / 0,360 / 0,490 ^{a,b}	0,150 / 0,340 / 0,500 ^a	0,150 / 0,428 / 0,580 ^{b,c}	0,185 / 0,515 / 0,940 ^{c,d,e}
Oberflächenauig- keit Ra [µm]	0,031 / 0,046 / 0,052 ^b	0,038 / 0,049 / 0,070 ^c	0,041 / 0,050 / 0,068 ^c	0,020 / 0,031 / 0,043 ^a	0,022 / 0,030 / 0,039 ^a	0,023 / 0,030 / 0,036 ^a	0,284 / 0,539 / 0,997 ^d

Tabelle 19 - Deskriptive Statistik der Abrasionsbeständigkeit

*_{a, b, c, d, e}: unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede eines Parameters zwischen den Materialien, die Kennzeichnung waagrecht (zeilenweise) zu verstehen.

Unterschiede der Abrasionsbeständigkeit und initialen Rauigkeit zwischen den Materialien

Den geringsten Höhenverlust zeigte IPS e.max CAD ($p < 0,001$), gefolgt von der homogenen Gruppe bestehend aus Ceramage, dialog Vario, in:joy und Signum composite ($p = 0,198-0,849$). Den nächst geringen Höhenverlust wies die Gruppe mit dialog Vario und Gradia plus auf ($p = 0,179$). Gradia plus lag ebenfalls im gleichen Wertebereich mit SR Nexco, das den höchsten Höhenverlust verzeichnete ($p = 0,240$).

Den geringsten Höhenverlust am antagonisierenden Zahnschmelz zeigte die homogene Gruppe mit in:joy, Signum composite und SR Nexco ($p = 0,761-0,879$). Es folgten Ceramage und Gradia plus ($p = 0,343$), wobei Gradia plus ebenfalls eine homogene Gruppe mit dialog Vario bildete ($p = 0,085$). IPS e.max CAD verursachte die höchste Abrasion am Antagonisten ($p \leq 0,034$).

Summiert zeigten in:joy und Signum composite den geringsten Höhenverlust und lagen im gleichen Wertebereich mit IPS e.max CAD ($p = 0,064-0,835$). IPS e.max CAD bildete ebenfalls einen homogenen Wertebereich mit Ceramage, SR Nexco und Gradia plus ($p = 0,054-0,999$). Gradia plus lag außerdem mit dialog Vario, das den größten Gesamthöhenverlust verzeichnete, im gleichen Wertebereich ($p = 0,748$).

Die summierten Höhenverluste wurden in Abbildung 23 graphisch dargestellt.

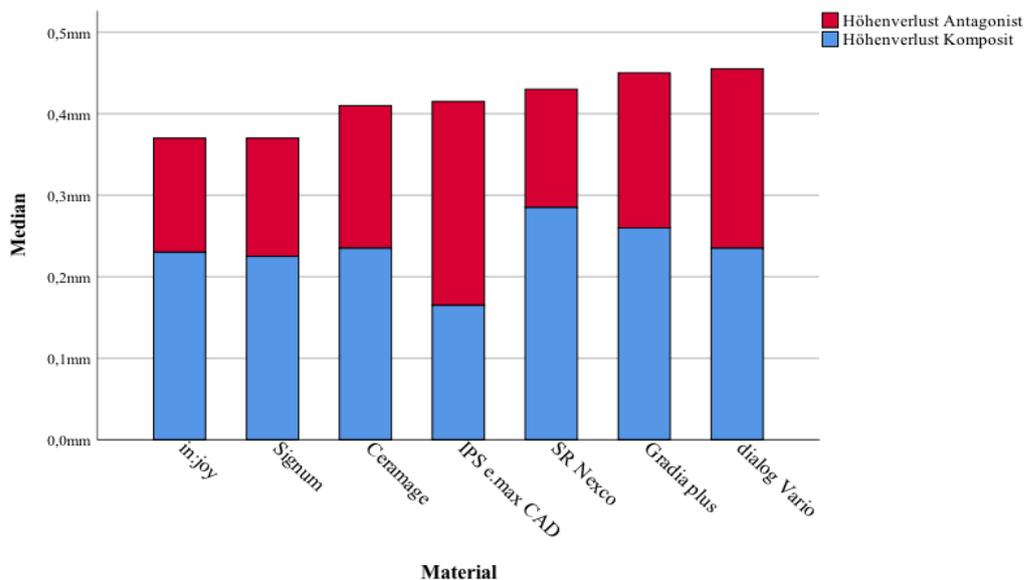


Abb. 23 - Graphische Darstellung des summierten Höhenverlustes und der jeweiligen Anteile daran, nach aufsteigender Reihenfolge.

Den niedrigsten Volumenverlust zeigte IPS e.max CAD und lag mit Signum composite im gleichen Wertebereich ($p=0,109$). Signum composite bildete darüber hinaus eine homogene Gruppe mit Ceramage und in:joy ($p=0,169-0,571$). Ceramage und in:joy lagen ebenfalls mit SR Nexco im gleichen Wertebereich ($p=0,067-0,571$). SR Nexco lag zudem mit dialog Vario und Gradia plus, die den höchsten Volumenverlust verzeichneten, im gleichen Wertebereich ($p=0,193-0,706$).

Den geringsten Volumenverlust am Antagonisten zeigte die homogene Gruppe mit in:joy, Signum composite und SR Nexco ($p=0,663-0,865$), gefolgt von Ceramage und Gradia plus, die einen gemeinsamen Wertebereich bildeten ($p=0,279$). Dialog Vario und IPS e.max CAD verursachten den höchsten Volumenverlust am antagonisierenden Zahnschmelz ($p=0,089$).

Den Volumenverlust des Materials und des Antagonisten summiert zeigte Signum composite den geringsten Verlust und lag mit in:joy im gleichen Wertebereich ($p=0,386$). In:joy bildete ebenfalls mit SR Nexco eine homogene Gruppe ($p=0,220$). SR Nexco lag darüber hinaus mit Ceramage und IPS e.max CAD im gleichen Wertebereich ($p=0,163-0,584$). Ceramage und IPS e.max CAD bildeten außerdem mit Gradia plus einen homogenen Wertebereich ($p=0,070-0,584$). Die höchste Summe des Volumenverlustes zeigte dialog Vario und lag damit mit Gradia plus und IPS e.max CAD im gleichen Wertebereich ($p=0,101-0,428$).

Die geringste initiale Oberflächenrauigkeit zeigten in:joy, Signum composite und SR Nexco, die im gleichen Wertebereich lagen ($p=0,449-0,720$), gefolgt von Ceramage ($p\leq 0,047$) und der homogenen Gruppe mit dialog Vario und Gradia plus ($p=0,762$). IPS e.max CAD zeigte die höchste Oberflächenrauigkeit ($p<0,001$).

Korrelationen der Materialverluste nach Spearman-Rho

		Höhenverlust Material	Höhenverlust Antagonist	Volumenverlust Material	Volumenverlust Antagonist
Höhenverlust Material	Korrelations- koeffizient	>0,999	-0,087	0,786	-0,039
	p-Wert	-	0,182	<0,001	0,341
Höhenverlust Antagonist	Korrelations- koeffizient	0,087	>0,999	0,191	0,863
	p-Wert	0,182	-	0,022	<0,001
Volumenver- lust Material	Korrelations- koeffizient	0,786	0,191	>0,999	0,321
	p-Wert	<0,001	0,022	-	<0,001
Volumenver- lust Antago- nist	Korrelations- koeffizient	-0,039	0,863	0,321	>0,999
	p-Wert	0,341	<0,001	<0,001	-

Tabelle 20 - Korrelationen der untersuchten Abrasionsparameter aller Materialien nach Spearman-Rho

Der Höhenverlust der untersuchten Materialien zeigte eine signifikante monotone, gleichwärts gerichtete Korrelation zu deren Volumenverlust ($p < 0,001$), korrelierte jedoch nicht mit dem Höhen- noch Volumenverlust des Antagonisten ($p = 0,182-0,341$).

Der Höhenverlust des Materials korrelierte monoton und gleichwärts gerichtet mit dem Volumenverlust des Materials und des Antagonisten ($p \leq 0,022$), jedoch nicht mit dem Höhenverlust des Materials ($p = 0,182$).

Der Volumenverlust des Materials korrelierte monoton und gleichwärts gerichtet sowohl mit dem Höhenverlust des Materials ($p < 0,001$), als auch mit dem Höhen- und Volumenverlust des Antagonisten ($p \leq 0,022$).

Der Volumenverlust des Antagonisten korrelierte nicht mit dem Höhenverlust des Materials ($p = 0,341$), jedoch mit dem Höhenverlust des Antagonisten ($p < 0,001$) und dem Volumenverlust des Materials ($p < 0,001$).

Korrelation der Oberflächenrauigkeit Ra mit den untersuchten Abrasionsparametern nach Spearman-Rho

Oberflächenrauigkeit Ra	Ceramage	dialog Vario	Gradia plus	in-joy	Signum com- posite	SR Nexco	IPS e.max CAD	
Höhenverlust Material	Korrelationsko- effizient	-0,061	-0,153	0,258	0,376	0,157	-0,519	0,347
	p-Wert	0,412	0,286	0,167	0,076	0,281	0,020	0,094
Höhenverlust Antagonist	Korrelationsko- effizient	0,282	0,115	0,121	0,097	-0,201	-0,241	0,522
	p-Wert	0,145	0,336	0,327	0,360	0,227	0,184	0,019
Volumenverlust Material	Korrelationsko- effizient	-0,346	-0,354	-0,256	-0,155	0,001	-0,377	0,408
	p-Wert	0,095	0,090	0,169	0,283	0,498	0,057	0,059
Volumenverlust Antagonist	Korrelationsko- effizient	-0,084	-0,362	0,054	-0,042	-0,024	-0,416	0,495
	p-Wert	0,379	0,084	0,422	0,438	0,464	0,054	0,026

Tabelle 21 - Korrelation der Oberflächenrauigkeit Ra mit den Abrasionsparametern nach Spearman-Rho

Die Korrelation der Oberflächenrauigkeit Ra mit den unterschiedlichen Abrasionsparameter

Die Komposite Ceramage, dialog Vario, Gradia plus, in:joy und Signum composite zeigten keinerlei Korrelation zwischen ihrer initialen Oberflächenrauigkeit und den erhobenen Abrasionsparametern ($p=0,054-0,498$). Bei SR Nexco korrelierte die Oberflächenrauigkeit signifikant und in gegenläufiger Weise mit dem Höhenverlust des Materials ($p=0,020$), nicht jedoch mit dessen Volumenverlust und dem Höhen- und Volumenverlust des Antagonisten ($p=0,054-0,184$). Bei IPS e.max CAD zeigte sich eine signifikante, gleichwärts gerichtete Korrelation zwischen der Oberflächenrauigkeit des Materials und dem Höhen- und Volumenverlust des Antagonisten ($p=0,019-0,026$). Zwischen der Oberflächenrauigkeit und dem Höhen- und Volumenverlust des Materials bestand keine Korrelation ($p=0,059-0,094$).

6 Diskussion

6.1 Zusammenfassung

Die vorliegende Dissertation untersuchte die Verfärbungsneigung, freie Oberflächenenergie und Oberflächenrauigkeit unterschiedlicher zahnmedizinischer Verblendkomposite im Vergleich zu einer Lithiumdisilikatkeramik sowie die Abrasionsbeständigkeit der Materialien und antagonisierenden Zahnschmelzes.

Die Messungen der Verfärbungsneigung, freien Oberflächenenergie und Oberflächenrauigkeit wurden initial, nach 14-tägiger Lagerung in einem Färbemedium sowie nach erneuter Politur durchgeführt. Es zeigten sich signifikante Unterschiede sowohl zwischen den unterschiedlichen Kompositen als auch im Vergleich zur Keramik. Damit wurden die beiden anfangs aufgestellten Hypothesen, es gäbe keine Unterschiede unter den Kompositen und keine Unterschiede zwischen den Kompositen und der Lithiumdisilikatkeramik, widerlegt.

Die Abrasion wurde nach 480.000 Kauzyklen in einem Kausimulator in Form des maximalen Höhen- und Volumenverlustes sowohl für die Prüfkörper, als auch für die Schmelzantagonisten ermittelt. Zuvor wurde die Oberflächenrauigkeit gemessen, um etwaige Korrelationen mit der Abrasionsbeständigkeit zu untersuchen. Es zeigten sich signifikante Unterschiede in der Abrasionsbeständigkeit innerhalb der Komposite und im Vergleich zur Lithiumdisilikatkeramik. Damit wurden auch die beiden zur Abrasionsbeständigkeit aufgestellten Hypothesen, die Komposite verhielten sich im Vergleich zueinander und zur Lithiumdisilikatkeramik gleich, falsifiziert.

6.2 Diskussion der Testmethoden

6.2.1 Prüfkörperherstellung und Lagerung

Die Kompositprüfkörper wurden manuell in dafür vorgesehene Formen geschichtet und nach Herstellerangaben polymerisiert, die Lithiumdisilikatprüfkörper von einer Trennmaschine in zuvor definierter Schichtstärke vom Rohling getrennt und kristallisiert. Aufgrund der manuellen Schichtung sind Inhomogenitäten daher eher möglich als bei einem industriell gefertigten CAD/CAM Material. Dieses Risiko besteht jedoch auch im Laboralltag für schichtbare Komposite und Keramiken. Die anschließende Politur erfolgte zunächst beidseitig maschinell auf eine Schichtstärke von 1,4 mm. Die darauffolgende manuelle Politur wurde mit größter Sorgfalt

durchgeführt und per Stoppuhr kontrolliert. Dennoch sind hier aufgrund tagesformabhängiger Schwankungen und des Lerneffektes, der sich bei der Anzahl der Prüfkörper unweigerlich einstellt, Unterschiede in der Politur zu erwarten, da der Anpressdruck und die Verteilung der Bearbeitungsdauer auf die komplette Fläche variieren können. Damit können Veränderungen der Oberflächenstruktur und unterschiedliche Schichtstärken der Prüfkörper durch lokal erhöhten Substanzabtrag einhergehen. Denkbar ist darüber hinaus auch, dass trotz der jeweils anschließenden Reinigung im Ultraschallbad Rückstände der Politurpaste in oberflächlichen Porositäten verblieben, die die anschließenden Messungen bzw. die Lagerung in den Lagerungsmedien beeinträchtigte.

Einerseits wurden durch diese manuelle Politur realitätsnahe Verhältnisse geschaffen, da auch im Laboralltag Werkstücke manuell poliert werden und den gleichen Schwankungen unterliegen. Andererseits wäre es denkbar, auf die manuelle Politur zu verzichten und dafür die rein maschinelle Politur vorzuziehen, um möglichst einheitliche Voraussetzungen zu schaffen und damit den Einflussfaktor der Politur auf die nachfolgenden Untersuchungen zu minimieren.

Die Prüfkörper wurden in unterschiedlichen Färbemedien gelagert. Bei einigen handelte es sich um Gemüsesaft. Es ist davon auszugehen, dass diese industriell gefertigten Produkte die gleiche Zusammensetzung besitzen. Trotzdem bleibt Gemüse ein Naturprodukt, dessen Individualität ebenfalls einen Einfluss auf die Ergebnisse nehmen kann.

Diskutabel ist ebenfalls das Vorgehen, die Prüfkörper nach der Lagerung ohne Reinigung den Messungen zu unterziehen. Durch das reine Abtropfenlassen der Prüfkörper blieb stets ein dünner Flüssigkeitsfilm auf der Oberfläche zurück, der zu Ablagerungen auf dem Prüfkörper führte. Es ist denkbar, dass diese Ablagerungen einen Einfluss auf die Messungen nahmen. Allein wegen der Sichtbarkeit ist davon auszugehen, dass die Ablagerungen von der Farbmessung erfasst wurden und Zucker und andere osmotisch wirksame Bestandteile der Färbelösungen sich auf die Benetzbarkeit auswirkten. Jedoch ist es auf der anderen Seite schwierig, alle Prüfkörper auf dieselbe Art und Weise zu reinigen und gleichzeitig die Vergleichbarkeit zu gewährleisten, da beispielsweise ein Abtupfen oder Abwischen wiederum manuelle Schwankungen unterläge.

Die statistische Aussagekraft der Untersuchung ist aufgrund der Anzahl von 10 bzw. 16 Prüfkörpern pro Gruppe gering und die Untersuchung daher eher als Pilotstudie zu betrachten, die im Kontext mit ähnlichen Untersuchungen als Referenz für zukünftige Untersuchungen dienen kann.

6.2.2 Verfärbungsrate und Oberflächeneigenschaften

Das CIELAB-Farbsystem ist ein genormtes Farbsystem³⁷. Es ist geräteunabhängig, was eine hohe Vergleichbarkeit der Ergebnisse mit anderen Untersuchungen zulässt. Systembedingte Fehlerquellen, zu denen beispielsweise Lichteinfall in die Messkammer oder Verunreinigungen auf der Linse zählen, sind für diese Untersuchung zu vernachlässigen, da mit dem Spektrophotometer stets in einem abgedunkelten Raum gearbeitet wurde und die von der Software live erstellte Transluzenzkurve eine gute Kontrollmöglichkeit darstellte. Etwaige Störungen konnten dadurch sofort behoben und die Messung erneut durchgeführt werden. Auch die Vergleichbarkeit der unterschiedlichen Lagerungszustände wurde durch die eindeutige Positionierung im Gerät gewährleistet. Daher sind die Messungen weitestgehend anwenderunabhängig. Diskussionspunkt bleibt jedoch der bereits beschriebene Umgang mit den Prüfkörpern, durch den Auflagerungen auf dem Prüfkörpern zurückblieben. Überdies entspricht die zweiwöchige Dauerinkubation der Prüfkörper in den Lagerungsmedien nicht der in-vivo-Situation. In der Mundhöhle ist die Dauer der Einflüsse deutlich kürzer, der Speichel verdünnt die Medien und reinigt zusammen mit Zunge und Wange die Zahnflächen⁶³, hinzu kommen orale Hygienemaßnahmen^{24,50,64}. Ebenso selten ist der isolierte Einfluss durch ein Medium, vielmehr kommt es zur Mischung diverser färbender Substanzen. Dennoch lassen sich nur durch dieses Vorgehen vergleichende Aussagen zwischen den Materialien treffen, indem isolierte Einflüsse untersucht und daraus Rückschlüsse auf die Performance im klinischen Alltag gezogen werden können.

Die freie Oberflächenenergie unterliegt dem Einfluss von Umweltschwankungen wie Temperatur und Luftdruck⁸⁰, die für diese Untersuchung nicht konstant gehalten werden konnten. Die Messung unterlag trotz klimatisierter Räumlichkeiten den jahreszeitlichen Schwankungen. Außerdem wird angenommen, dass osmotisch wirksame Substanzen in den angesprochenen Auflagerungen die Messungen beeinflussten. Ein weiterer Kritikpunkt ist die stichprobenartige Messung, die auf Grund des Platzmangels durchgeführt wurde. Für zukünftige Untersuchungen wird es daher als sinnvoll erachtet, die Messungen unter konstanteren Umweltbedingungen durchzuführen und gegebenenfalls die Prüfkörperoberfläche größer zu gestalten, um aus mehreren Messwerten einen Durchschnittswert für jeden Prüfkörper ermitteln zu können. Darüber hinaus stellte die Tropfenkonturanalyse eine sehr anwendersensible Methode dar, die viele Fehlerquellen beinhaltet. Begonnen mit der Tropfengröße, die manuell justiert wird, über die Dauer, die der Tropfen auf der Oberfläche liegt, bevor ein Foto zur Analyse gemacht wird bis hin zur manuellen Festlegung der Tropfenbasis beinhaltet die Methode viele Schritte, die auch

bei einem geübten Anwender trotz größtmöglicher Sorgfalt Schwankungen unterliegt und damit Messungenauigkeiten nach sich ziehen kann. Angesichts der Sensibilität der freien Oberflächenenergie und dem untergeordneten Einfluss auf die Plaquebesiedelung im Gegensatz zur Oberflächenrauigkeit⁵⁵ ist die Vorhersagbarkeit des klinischen Verhaltens anhand dieses Wertes ohnehin begrenzt, weshalb er eher einen ergänzenden Charakter einnimmt.

Die Untersuchung der Oberflächenrauigkeit wurde mit einem hochsensiblen taktilen Profilometrie-Messgerät durchgeführt, das kleinste Erschütterungen wahrnimmt. Darin liegt auch der Hauptdiskussionspunkt der Messungen. Obwohl die Messeinrichtung in einem fensterlosen, relativ abgelegenen Raum des Gebäudes aufgebaut war, führten Baumaßnahmen am Gebäude, Straßenverkehr und Publikumsverkehr auf den angrenzenden Fluren wahrscheinlich zu nicht wahrnehmbaren aber messbaren Erschütterungen. Zwar wurden für die Messungen die Hauptgeschäftzeiten der Klinik gemieden und vornehmlich die ruhigeren Morgen- und Abendstunden genutzt, ein Einfluss dieser Faktoren auf die Messwerte kann allerdings nicht gänzlich ausgeschlossen werden. Offensichtlich beeinträchtigte Messungen wurden jedoch wiederholt. Dank der hochsensiblen Messmethoden, der Überwachung der Messvorgangs und der Verwendung eines Mittelwertes aus sechs Messungen lassen die Ergebnisse eine relativ zuverlässige Aussage über die Rauigkeit der Materialien zu. Da die Rauigkeit bei der bakteriellen Besiedlung oraler Oberflächen im Vergleich zur freien Oberflächenenergie den größeren Einfluss nimmt⁵⁵ und ebenso für die Verfärbungsanfälligkeit von Bedeutung ist, ermöglicht die vorliegende Untersuchung, Voraussagen zum klinischen Verhalten zu treffen.

6.2.3 Abrasionsbeständigkeit

Um die Abrasionsbeständigkeit der untersuchten Materialien zu evaluieren, wurden Höcker extrahierter, gesunder Molaren als Antagonisten präpariert und in einem Kausimulator artifiziell Gebrauch unterzogen. Die Verwendung von Schmelzantagonisten im Gegensatz zu Metall- oder Aluminiumoxidkeramik kommt der in-vivo-Situation am nächsten⁶⁸, obwohl sich die Morphologie des Zahnschmelzes von Zahn zu Zahn unterschiedlich gestaltet⁸¹. Die Schichtstärke, Prismenanordnung und Zusammensetzung differieren^{67,82} und Zähne abradieren daher unterschiedlich stark. Diese individuellen Voraussetzungen nehmen unweigerlich Einfluss auf die Ergebnisse. Der zusätzliche Thermolastwechsel, für den andere Untersuchungen einen Einfluss auf die Materialeigenschaften nachwiesen⁴⁴, imitierte weitere Materialstressung während des Gebrauchs und brachte die Untersuchung dadurch den Realbedingungen etwas näher.

Der verwendete Kausimulator stimmt mit anderen Simulationen überein⁷³. Durch die randomisierte Verteilung der Prüfkörper konnte ein etwaiger Einfluss der Prüfkammer auf die Ergebnisse ausgeschlossen werden. Auch die Auswertung der Prüfkörper mittels Laserscanner ist ein bewährtes Vorgehen und die Ergebnisse der vorliegenden Dissertation korrelierten mit anderen Untersuchungen, die unterschiedliche Auswertungsmethoden verglichen⁷⁴. Jedoch wurden die erzeugten Punktwolken durch Bearbeitung mit der Software GOM insofern manipuliert, als das eindeutige Bildrauschen, das gelegentlich auftrat, entfernt und entstandene Löcher im Ermessen des Programmes gefüllt wurden. Wünschenswert wäre daher für künftige Untersuchungen eine Möglichkeit, die Aufnahmen rauschfrei anzufertigen, um diese Einflussnahme zu vermeiden.

Trotz aller Versuche, die Untersuchung so realitätsnah wie möglich zu gestalten, ist die Aussagekraft für das in-vivo-Verhalten der untersuchten Materialien limitiert. Die multifaktoriellen und sehr individuellen Einflüsse auf Restaurationsmaterialien in der Mundhöhle lassen sich nicht anhand einfacher Modelle in-vitro darstellen. Daher überrascht es auch nicht, dass die Übereinstimmung zwischen in-vitro-Simulationen und Untersuchungen des in-vivo-Verhaltens bisher kaum nachgewiesen werden konnte und auch nur schwierig nachzuweisen ist⁶⁸. Eine Untersuchung kam zu der Schlussfolgerung, dass das Abrasionsverhalten des Komposits mehr von den Patienten als von den verwendeten Kompositen abhängig sei⁶⁸. Dennoch ist ein direkter, aussagekräftiger Vergleich unterschiedlicher Materialien nur unter standardisierten Bedingungen möglich, die die individuellen Einflussfaktoren eliminieren.

6.3 Diskussion der Ergebnisse

6.3.1 Verfärbungsneigung

Die Einlagerung der unterschiedlichen Materialien in verschiedene Färbemedien zeigte, dass es sowohl Unterschiede zwischen den Färbemedien als auch unter den Materialien gab. Bei allen Kompositen zeigten sich die signifikant höchsten Färberaten bei den in Curry-Lösung gelagerten Prüfkörpern. Dabei erstreckten sich die ΔE_{ab} -Werte von $\Delta E_{ab}=11,01$ bei Signum composite bis $\Delta E_{ab}=36,73$ für Ceramage. IPS e.max CAD dagegen verfärbte sich in Karottensaft am signifikant stärksten. Diese Ergebnisse stehen im Widerspruch zu andere Untersuchungen, in denen Rotwein stärkere Verfärbungen verursachte als Curry-Lösung³ oder Curry-Lösung nicht untersucht wurde^{44,47,83}. Mögliche Ursachen könnten in den unterschiedlichen Lagerungszeiten (Guler 24h, Stawarczyk 180 Tage), unterschiedlichen Materialien und deren Bearbeitung⁸⁴ und

auch in der variablen Zusammensetzung der Lagerungsmedien begründet sein⁴¹. Abgesehen davon ergab sich für die Färbepotenz der Lagerungsmedien eine eher inhomogene Reihenfolge für die unterschiedlichen Materialien. Zwar zeigten sich Unterschiede, tendenziell verhielten sich die Materialien jedoch innerhalb leichter Schwankungen ähnlich gegenüber den Färbelösungen mit Ausnahme der Curry-Lösung.

Bei dem in Curry enthaltenen gelben Farbstoff handelt es sich um Curcumin, ein im Vergleich zu den übrigen getesteten Farbstoffen eher kleines Molekül. Curcumin ist wasserunlöslich und liegt folglich als Suspension in der Curry-Lösung vor. Dennoch ist es in der Lage, dank seiner Sauerstoffatome und Hydroxylgruppen Wasserstoffbrückenbindungen einzugehen⁸⁵. Die Farbstoffe, die in den übrigen getesteten Lagerungsmedien aktiv sind, zeigen entweder eine hohe Löslichkeit in Wasser oder besitzen kein Potenzial, über die Van-der-Waals-Kräfte hinaus in Wechselwirkung mit anderen Molekülen zu treten. Da es sich bei der Verfärbung der untersuchten Materialien um eine Adsorption handelt²⁰, bei der Adhäsionskräfte ebenfalls eine Rolle spielen¹⁰, könnte die höhere Adsorption der Curcumin-Moleküle im Gegensatz zu den anderen Farbstoffen in dessen Eigenschaften begründet sein. Das Potenzial, Wasserstoffbrückenbindungen einzugehen, besitzen auch die Polymere, sodass Adhäsionsvorgänge zwischen beiden möglich sind. Durch die Wasserunlöslichkeit werden Lösungsvorgänge durch Wasser für Curcumin jedoch unwahrscheinlicher als für die wasserlöslichen Farbstoffe der Untersuchung, sodass sich Curcumin im Vergleich potenziell häufiger und dauerhafter anlagert.

Rotwein zeigte Verfärbungen im Bereich von $\Delta E_{ab}=3,66-6,24$ und liegt damit im klinisch inakzeptablen Bereich, jedoch deutlich unter den von Curry-Lösung verursachten Werten. Angesichts der Literatur^{44,47,83} überrascht diese Datenlage zunächst, besonders im Hinblick auf die vermuteten Einflüsse von Alkohol und Säuren durch den Rotwein. Allerdings existiert eine Vielzahl unterschiedlicher Rotweine, die sich in ihrer individuellen Zusammensetzung unterscheiden. Darüber hinaus unterliegen Weine bis zum Genuss einem stetigen Reifeprozess, bei dem es zu Veränderungen kommt. Daher ist anzunehmen, dass durch Rotwein verursachte Verfärbungen auch von der Art des Rotweins abhängen. Eine Untersuchung mit unterschiedlichen Weinen könnte die These verifizieren.

Die ΔE_{ab} -Werte schwanken nach Färbung in Karottensaft stark, die reichen von 1,67 bis 7,32. Ein Zusammenhang zur Oberflächenrauigkeit oder freien Oberflächenenergie kann allerdings weder eindeutig noch als Tendenz festgestellt werden. Vielmehr wird vermutet, dass geschuldet der Testmethode Rückstände des Saftes auf den Oberflächen verblieb. Für den Karottensaft

schien diese Problematik besonders ausgeprägt zu sein, da er im Gegensatz zu den Übrigen Färbelösungen einen hohen Zuckergehalt besaß.

Bei den untersuchten Materialien zeigte vor allem Gradia plus eine hohe Affinität zu den verfärbenden Substanzen, während Signum composite und IPS e.max CAD durch geringe Verfärbungsraten imponierten. Als Grund dafür kann die Oberflächenrauigkeit in Betracht gezogen werden, die laut anderer Untersuchungen mit der Verfärbungsrate korreliert^{46,48,86}. Gradia plus zeigte unter allen untersuchten Materialien die signifikant höchsten Ra-Werte, während IPS e.max CAD die signifikant niedrigsten Werte aufwies. Auch Signum composite präsentierte eine vergleichsweise geringe Oberflächenrauigkeit.

SR Nexco lag ebenfalls mit Ausnahme der Rote-Bete-Saft-Gruppe im Bereich der niedrigeren Verfärbungsraten. Als Ursache für diesen Ausreißer werden jedoch Abweichungen zwischen verschiedenen Rote Bete-Gläsern des Herstellers vermutet, da es sich trotz industrieller Verarbeitung um ein Naturprodukt handelt und daher Schwankungen unterlegen ist. Darüber hinaus sind auch Zerfallsprozesse innerhalb des Rote-Bete-Saftes denkbar, die nach Öffnen der Gläser durch den Kontakt mit Sauerstoff stattfinden.

Über den Einfluss weiterer Faktoren in den Färbelösungen kann nur spekuliert werden, da hierzu keine weiteren Daten erhoben wurden. Dennoch ist denkbar, dass beispielsweise der pH-Wert der Lösungen einen Einfluss auf die Integrität der Oberflächen hat, da bereits nachgewiesen werden konnte, dass saure Stoffwechselprodukte bakterieller Besiedlung die Oberflächen erweichen können⁴⁹. Bekanntermaßen enthält Wein eine Mischung diverser Säuren, weshalb eine Beeinträchtigung des Materials denkbar wäre. Auch auf Alkohol ist eine Reaktion seitens des Materials nicht auszuschließen. Für weiterführenden Untersuchungen wäre es daher interessant, den pH-Wert der Lösungen zu beobachten und gegebenenfalls Kontrollgruppen in Alkohol oder Säuren zu lagern, um deren Einfluss isoliert zu erfassen. Bisher nicht untersucht wurden darüber hinaus, ob es bei Verfärbungen, ähnlich der Oberflächenrauigkeit⁵⁰ additive Effekte gibt oder wie sich die Kombination bestimmter Färbemedien auf die Farbänderung auswirkt. Möglicherweise käme man auf diese Weise den vielfältigen in-vivo-Einflüssen näher.

Andere Untersuchungen sahen auch in den Bestandteilen der Polymermatrix Gründe für unterschiedliche Verfärbungsraten. Demnach zeigte Bis-GMA höhere Verfärbungsraten als UDMA, weil dessen Hydroxylgruppen, ebenso in etwas abgeschwächter Form bei TEGDMA⁸⁷, eine höhere Wasseraufnahme bedingen^{20,43,88}. Neben anderen Matrix-Bestandteilen enthält Gradia

plus laut Herstellerangaben auch 1-5% Bis-GMA und 5-10% TEGDMA, was die höhere Verfärbungsrate möglicherweise mitbedingt. Auch dialog Vario enthält Bis-GMA, in:joy und Signum composite TEGDMA, ohne dabei signifikant höhere Verfärbungsraten gezeigt zu haben. Der Anteil wird vom Hersteller jedoch nicht weiter präzisiert. Dies korreliert mit Untersuchungen, die keinen Zusammenhang zwischen Matrixbestandteilen und Verfärbung sehen^{32,41}. Soweit angegeben konnte ein Zusammenhang mit dem Füllkörperanteil oder der Füllkörpergröße im Gegensatz zu einigen anderen Untersuchungen nicht festgestellt werden^{22,44,47}. Zwar zeigte sich Signum composite, ein Mikrofüllerkomposit, beständiger als die übrigen Komposite, jedoch konnte sich in:joy, ebenfalls Mikrofüllerkomposit, im Gegensatz zu anderen Untersuchungen⁸⁴ nicht von den Hybridkompositen abheben.

Die Verfärbungen lagen mehrheitlich oberhalb des klinisch akzeptablen Grenzwertes von $\Delta E_{ab}=3,3$ ³⁸. Lediglich IPS e.max CAD unterbot diesen Grenzwert nach Verfärbung in Curry-Lösung ($\Delta E_{ab}=0,86$) und Kaffee ($\Delta E_{ab}=3,13$), sowie Ceramage ($\Delta E_{ab}=2,79$), dialog Vario ($\Delta E_{ab}=2,11$) und Signum composite ($\Delta E_{ab}=1,67$) nach Verfärbung in Karottensaft. Abgesehen von einer Ausnahme, die Ceramage nach Lagerung in Curry-Lösung bildete ($\Delta E_{ab}=9,16$), konnten die Verfärbungen aller Materialien und Lagerungsmedien durch die erneute Politur auf ein klinisch akzeptables Niveau reduziert werden. Dies korreliert mit den Aussagen anderer Studien^{44,86}. Für die Praxis ließe sich daraus ableiten, dass in der Nachpolitur verfärbten Zahnersatzes eine potenzielle Möglichkeit liegt, die ursprüngliche Farbe zumindest annähernd wiederherzustellen.

6.3.3 Oberflächenrauigkeit

Die Rauigkeit der untersuchten Materialien offenbarte Unterschiede sowohl initial zwischen den Materialien als auch in verfärbtem Zustand zwischen den unterschiedlichen Lagerungsmedien. IPS e.max CAD zeigte generell die niedrigsten initialen Rauigkeiten gefolgt von Signum composite, das teilweise sogar im gleichen Wertebereich lag. Auch einige Gruppen von in:joy lagen in diesem Wertebereich. Gradia plus zeigte mit Abstand die höchsten Rauigkeiten, die übrigen Materialien erwiesen sich mit kleinen Unterschieden als ähnlich. Abgesehen von Gradia plus lagen die Rauigkeitswerte sowohl initial als auch nach erneuter Politur über dem geforderten Wert von $0,1 \mu\text{m}^2$ bzw. $0,2 \mu\text{m}^2$ ^{55,65}.

Die erzielten Politurergebnisse initial und nach erneuter Politur stimmen mit den Ergebnissen anderer Untersuchungen überein^{22,44} oder unterschritten sie⁴⁹. Jedoch muss dabei beachtet werden, dass die unterschiedlichen Politurverfahren das jeweilige Ergebnis beeinflussen und sie daher nur bedingt vergleichbar sind^{84,88}.

Die Oberflächenbeschaffenheit ist abhängig von der Zusammensetzung des Komposits, insbesondere von der Füllkörperart- und Größe, aber auch von der Härte, Flexibilität und Korngröße der Politurinstrumente^{5,89-91}. Dass IPS e.max CAD die niedrigsten Rauigkeiten gegenüber den Kompositen zeigte, überrascht nicht, da in kristallisierter Form eine Kristallstruktur von 70% Lithiumdisilikat-Kristallen eingebettet in Glas vorliegt⁹². Dadurch, und nicht zuletzt durch die industrielle Fertigung, entsteht eine homogene Oberfläche und der Abtrag durch die Politur ist sowohl minimal als auch sehr gleichmäßig. Bei den Kompositen liegen Füllkörper eingebettet in eine Polymermatrix, die weicher als die Füllkörper ist. Sie wird bei der Politur eher abgetragen, sodass die Füllkörper teilweise herausragen. Daher werden in der Literatur eine feinere Füllkörpergröße und ein höherer Füllkörpergehalt als entscheidende Faktoren für geringere Oberflächenrauheit gehandelt⁹³. Die vorliegende Untersuchung bedient diese These jedoch nicht. Demnach müsste SR Nexco als Mikrofüllerkomposit mit dem höchsten Füllstoffgehalt (82-83%) der untersuchten Komposite die geringste Rauigkeit zeigen, analog dazu in:joy mit 55% Fülleranteil hohe Rauigkeitswerte. Diese Beobachtung lässt die vorliegende Untersuchung nicht zu. Genauere Angaben über die Größe ihrer Füllkörper machen die meisten Hersteller nicht, weshalb es schwierig ist, die übrigen Komposite, insbesondere Gradia plus, das die höchste Rauigkeit zeigte, dahingehend zu beurteilen. Dennoch fällt auf, dass sich Signum composite, in:joy und SR Nexco, diejenigen Komposite, deren Rauigkeiten im unteren Bereich angesiedelt sind, mit der Kombination aus Siliziumdioxid und Prä- bzw. Copolymerisaten als Füllstoffe kaum unterscheiden. Auch Gradia plus enthält Präpolymerisate, jedoch wird als weiterer Füllstoff lediglich Glasfüller angegeben. Ceramage und dialog Vario enthalten hingegen keine Präpolymerisate. Die Rauigkeit scheint demnach auch mit der Art der Füllstoffe zusammenzuhängen, wobei sich die Mischung aus Siliziumdioxid und Präpolymerisaten in dieser Untersuchung als vielversprechendste Kombination herauskristallisierte. Allerdings darf nicht außer Acht gelassen werden, dass die vorliegende Untersuchung Aussagen nur zu dem verwendeten Politursystem erlaubt, das für einen Komposit besser funktionieren kann als für einen anderen. Außerdem können auch trotz größtmöglicher Sorgfalt auf Grund der manuellen Politur Abweichungen bestehen.

Dennoch lässt sich aus der vorliegenden Untersuchung ableiten, dass es offenbar komplexere Zusammenhänge zwischen Oberflächenrauigkeit und Zusammensetzung des Komposits gibt als die genannten. Mögliche Faktoren sind hier der Verbund zwischen Füllkörper und Matrix, der durch die Silanisierung der Füllkörper hergestellt wird, die Form der Füllkörper und die Zusammensetzung der Matrix bzw. des Komposits^{5,24,30,76}.

In verfärbtem Zustand zeigten die in Kaffee und Rote-Bete-Saft gelagerten Prüfkörper eine Zunahme der Rauigkeit, die Curry-Lösung und Karottensaft gelagerten Gruppen zeigen nur teilweise eine Veränderung, die in Rotwein gelagerte Gruppen veränderten die Rauigkeit kaum. Die Rauigkeit von Gradia plus nahm jedoch nur nach Lagerung in Kaffee signifikant zu, die übrigen Lagerungsmedien hatten keinen signifikanten Einfluss. Die Zunahme der Rauigkeit ließe sich mit der Aufnahme von Wasser und der damit verbundenen Quellung, die mit einer Veränderung des oberflächlichen Profils einhergeht, erklären^{9,44}. Da die Verteilung der Gruppen, die eine Rauigkeitszunahme verzeichneten, jedoch nicht auf einzelne Komposite beschränkt ist und auch IPS e.max CAD, bei dem die Wasseraufnahme vernachlässigt werden kann, betroffen war, scheint es wahrscheinlicher, dass es sich um Auflagerungen handelt. Sie können durch den Umgang mit den Prüfkörpern entstanden sein. Die Prüfkörper wurden aus dem Lagerungsmedium entfernt und nicht abgespült, sondern tropften ab und trockneten. Es ist nicht auszuschließen, dass durch dieses Vorgehen unterschiedlich starke Rückstände entstanden. Dabei ist davon auszugehen, dass etwaige Auflagerungen die ohnehin relativ raue Oberfläche von Gradia plus nicht additiv beeinflussten. Es ist ebenfalls kein Zusammenhang zur freien Oberflächenenergie herstellbar, mit der man eine bessere oder schlechtere Benetzbarkeit durch die Lagerungsmedien hätte begründen können.

Die erneute Politur erlaubte allerdings, abgesehen von wenigen unregelmäßigen Ausnahmen, eine Oberflächenrauigkeit im Bereich der initialen Rauigkeiten wiederherzustellen. Übertragen auf die Praxis lässt sich daraus schlussfolgern, dass eine neuerliche Politur die Oberflächenqualität einer Versorgung verbessert und sogar wiederherstellen kann, wenn deren Oberfläche während der Gebrauchsperiode aufgeraut wurde.

6.3.2 Freie Oberflächenenergie

Neben der Oberflächenrauigkeit gilt die freie Oberflächenenergie als Faktor, der die bakterielle Besiedelung und folglich die damit verbundenen Risiken wie Verlust der Oberflächenintegrität, Verfärbung und Entzündungsreaktionen des Parodonts begünstigt^{48,49,55,56}. Die untersuchten

Materialien zeigten sowohl im Vergleich untereinander als auch im Vergleich der verschiedenen Lagerungsmedien unterschiedliche Werte bei der freien Oberflächenenergie.

Die untersuchten Materialien zeigten initial Werte im Bereich von 33,4 mN/m bis 55,8 mN/m, wobei die höchsten Werte von IPS e.max CAD erzielt wurden. Der höchste Wert für Komposit lag bei 50,3 mN/m (Ceramage, Gruppe Karottensaft). Abgesehen von einer Ausnahme der Gruppe Karottensaft zeigte IPS e.max CAD die höchsten Werte, gefolgt von SR Nexco, das stets im höchsten Wertebereich der Komposite lag. Für die übrigen Materialien ergab sich eine eher inhomogene Reihenfolge der Werte für die Oberflächenenergie. Damit lagen die Materialien sehr nah an dem für die maximale Bakterienadhäsion formulierten Grenzwert von 50 mN/m⁹⁴.

Diese Ergebnisse korrelieren mit den Aussagen anderer Untersuchungen. Demnach wurde eine höhere Oberflächenenergie für Glas im Gegensatz zu Polyether nachgewiesen⁵⁸. Darüber hinaus wurde für den steigenden keramischen Gewichtsanteil ein exponentielles Wachstum, für den organischen Matrixanteil jedoch nur ein lineares Wachstum der Oberflächenenergie ermittelt⁵⁷ und eine steigende Oberflächenenergie korrelierte mit steigendem Fülleranteil⁵⁹. Daher überrascht es nicht, dass IPS e.max CAD die höchsten Werte erzielte und SR Nexco, das mit Abstand den höchsten Fülleranteil besitzt, die zweithöchsten Werte verzeichnete. Für die übrigen Verblendkomposite zeigten sich im Rahmen gewisser Schwankungen relativ ähnliche Ergebnisse. Im Hinblick darauf, dass Ceramage, dialog Vario und Signum composite einen nahezu gleichen Füllstoffanteil besitzen während für Gradia plus dieser nicht näher angegeben wird, darf auch der Einfluss der Polymermatrix nicht außer Acht gelassen werden. Daher kann in der Materialzusammensetzung eine Erklärung für die Werteverteilung gesehen werden.

Nach der erneuten Politur zeigten die Gruppen sowohl höhere als auch niedrigere Werte als initial gemessen, was sich auch an der Verteilung negativer (nach erneuter Politur niedrigere Oberflächenenergie) und positiver Differenzwerte zwischen initialem und erneut poliertem Zustand ablesen lässt. Dabei überwiegt die Anzahl der Gruppen, die nach erneuter Politur einen Verlust von Oberflächenenergie verzeichneten. Diese Ergebnisse stehen im Widerspruch zu einer Untersuchung, die mit der Alterung eine Zunahme der Oberflächenenergie beschreibt⁵⁹. Eine mögliche Erklärung könnten in den unterschiedlichen Lagerungsmedien begründet liegen, da in der Untersuchung künstlicher Speichel, unterschiedliche, in der Mundhöhle vorkommende Säuren und Ethanol verschiedener Konzentrationen verwendet wurde. Denkbar ist je-

doch auch, dass sich trotz der Reinigung im Ultraschallbad Rückstände der in dieser Untersuchung verwendeten Politurpaste in den Porositäten der Oberfläche befanden und die Messung beeinflussten. Die Reihenfolge der Materialien änderte sich nach der erneuten Politur nicht, abgesehen von etwas größeren Schwankungen bei SR Nexco.

Nach der Lagerung in den verschiedenen Färbemedien zeigten alle Prüfkörper eine signifikant höhere Oberflächenenergie als initial und nach erneuter Politur. Der Wertebereich erstreckte sich von 62,1 mN/m für Signum composite gelagert in Curry-Lösung bis 77,4 mN/m für Gradia plus gelagert in Rotwein. Generell zeigten die in Curry-Lösung gelagerten Gruppen eher niedrigere und die Rotwein gelagerten Gruppen eher höhere Werte als die übrigen drei Gruppen, die sich ähnelten. Dies könnte den bereits angesprochenen Rückständen der Färbemedien auf der Oberfläche geschuldet sein, die sich unterschiedlich stark auswirken.

Generell ist bei den Werten für die freie Oberflächenenergie eine hohe Schwankung zu erkennen. Dadurch entstehen relativ großen Wertebereiche, die sich dadurch begründen lassen, dass für sich die freie Oberflächenenergie aufgrund der begrenzten Platzmöglichkeiten auf der Prüfkörperoberfläche lediglich eine Stichprobenmessung durchführen ließ. Im Gegensatz dazu steht beispielsweise die Oberflächenrauigkeit, für die ein Durchschnittswert aus sechs Werten ermittelt wurde und dadurch gegenüber Ausreißern weniger anfällig war. Darüber hinaus handelt es sich bei der freien Oberflächenenergie um einen relativ anfälligen Messwert, der abhängig von Umgebungsvariablen wie Temperatur, Luftfeuchtigkeit und Luftdruck ist⁸⁰. Da die Untersuchungen unter diesbezüglich unterschiedlichen Bedingungen stattfanden, ist auch hier ein Einfluss nicht auszuschließen. Für zukünftige Untersuchungen sollte die klinische Relevanz des Wertes neu eingeordnet werden, da angesichts der Anfälligkeit des Wertes die Aussagekraft gering ist und der Nutzen für die klinische Anwendung anderen Faktoren unterlegen ist.

6.3.4 Abrasionsbeständigkeit

In der vorliegenden Untersuchung wurden die Materialien einer Kausimulation von 480.000 Kauzyklen mit gleichzeitiger zyklischer Thermowechselbelastung von 5°C und 55°C unterzogen. Die sechs Verblendkomposite zeigten einen signifikant höheren Höhen- und Volumenverlust als die Vergleichsgruppe IPS e.max CAD mit Ausnahme des Volumenverlustes von Signum composite, der IPS e.max CAD glich. Jedoch zeigten die Komposite niedrigeres abrasives Potenzial am antagonisierenden Zahnschmelz als die Lithiumdisilikatkeramik mit Ausnahme von Gradia plus, das einen ähnlichen Volumenverlust am Antagonisten verursachte.

Grund für den deutlich höheren Antagonistenverschleiß bei IPS e.max CAD scheint die Härte und Oberflächenbeschaffenheit des Materials zu sein. Sie stellen die wichtigsten Verschleißfaktoren dar^{95,96}. Die Oberflächenrauigkeit von IPS e.max CAD zeigte in der vorliegenden Untersuchung die signifikant und mit Abstand höchsten Rauigkeitswerte unter den Materialien. Darüber hinaus besitzt IPS e.max CAD laut Herstellerangaben die höchste Oberflächenhärte der getesteten Materialien⁹². Damit kombiniert IPS e.max CAD die unter dem Gesichtspunkt der Schonung des Antagonisten ungünstigsten Charakteristika der untersuchten Materialien.

Es zeigten sich ebenfalls Unterschiede zwischen den Kompositen. Signum composite und in:joy zeigten die höchste Abrasionsstabilität und verursachten gleichzeitig gemeinsam mit SR Nexco den niedrigsten Materialverlust am Zahnschmelz. Diese Ergebnisse korrelieren mit anderen Untersuchungen, in denen Unterschiede zwischen getesteten Verblend-⁴⁴ und/oder CAD/CAM-Kompositen und unterschiedlichen Keramiken^{3,44,95} ermittelt wurden. Im Vergleich zu den getesteten Kompositen wurde IPS e.max CAD ebenfalls der niedrigste Materialverlust und die höchste Antagonistenabrasion nachgewiesen^{3,77}.

Signum composite und in:joy zeigten die höchste Abrasionsstabilität und verursachten gleichzeitig gemeinsam mit SR Nexco den niedrigsten Materialverlust am Zahnschmelz, was möglicherweise in der geringen Rauigkeit der drei Materialien mitbegründet liegt. Diese Ergebnisse korrelieren mit anderen Untersuchungen, in denen Unterschiede zwischen getesteten Verblend-⁴⁴ und/oder CAD/CAM-Kompositen und unterschiedlichen Keramiken^{3,44,95} ermittelt wurden. Im Vergleich zu den getesteten Kompositen wurde IPS e.max CAD ebenfalls der niedrigste Materialverlust und die höchste Antagonistenabrasion nachgewiesen^{3,77}.

Eine Übersicht über die Abrasionen an den Prüfkörpern wurde mit Hilfe der Rasterelektronenmikroskopie erstellt (Abb. 24-30). Zu erkennen ist die Abrasionsmulde, die durch den Antagonisten verursacht wurde. Abhängig vom Material variierten die Geometrien der Mulden. Eine hohe Abrasion am Antagonisten führte aufgrund der halbkugelförmigen Gestaltung der Antagonisten zu einer Vergrößerung der Kontaktfläche, sodass die Abrasionsmulde dementsprechend flacher, dafür jedoch breiter ausfiel. Umgekehrt verursachten die Antagonisten der antagonistenschonenden Materialien eher tiefere Mulden mit geringerem Durchmesser. Dabei sollte jedoch nicht außer Acht gelassen werden, dass geometriebedingt mit zunehmender Eindringtiefe der Antagonisten auch der Durchmesser der Mulden anstieg. Besonders deutlich wird diese Beobachtung beim Vergleich von Abbildung 24 und 30, da SR Nexco und IPS e.max CAD diesbezüglich die größten Differenzen aufwiesen. Gut zu erkennen ist darüber hinaus

auch die unterschiedlich glatte Oberflächenstruktur neben den Abrasionsmulden. In:joy, SR Nexco und Signum composite zeigten die geringsten Rauigkeiten nach der maschinellen Politur.

REM-Aufnahmen der Prüfkörper mit 85facher Vergrößerung:

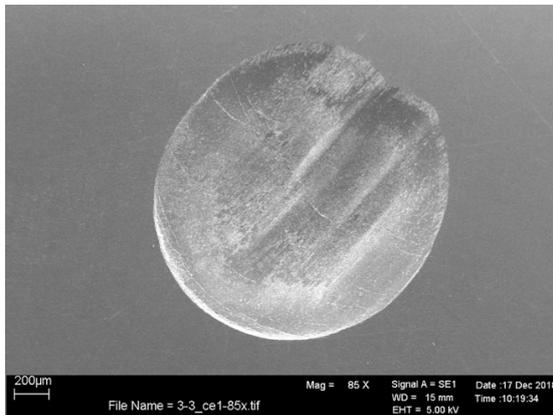


Abb. 24 - Ceramage

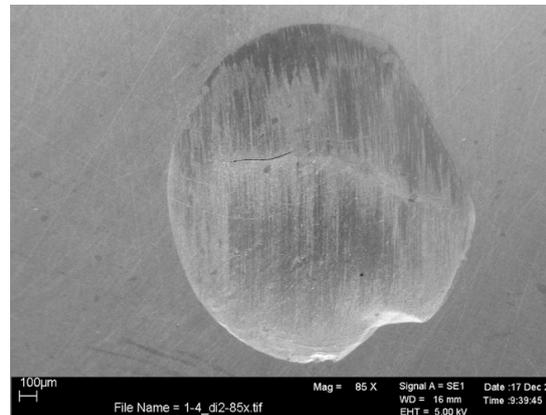


Abb. 25 - dialog Vario

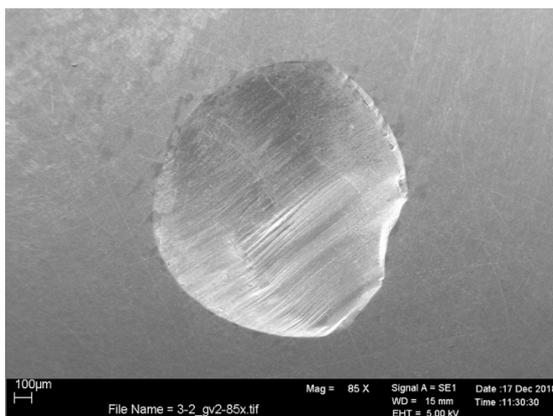


Abb. 26 - Gradia plus

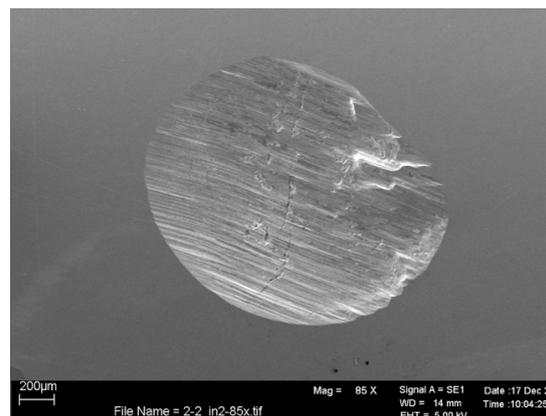


Abb. 27 - in:joy. Das glatte Erscheinungsbild der Oberfläche außerhalb der Abrasionsmulde korreliert mit den niedrigen Oberflächenrauigkeit und kann auch bei Signum composite und SR Nexco beobachtet werden

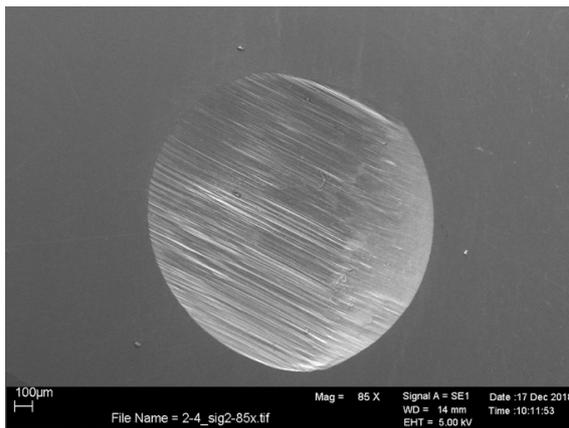


Abb. 28 - Signum composite. Das glatte Erscheinungsbild der Oberfläche außerhalb der Abrasionsmulde korreliert mit den niedrigen Oberflächenrauigkeit und kann auch bei in:joy und SR Nexco beobachtet werden

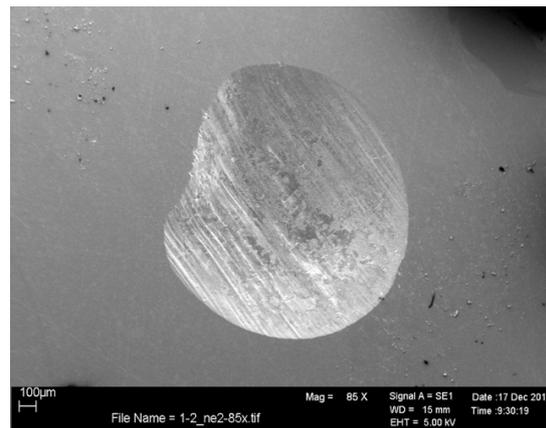


Abb. 29 - SR Nexco. Das glatte Erscheinungsbild der Oberfläche außerhalb der Abrasionsmulde korreliert mit den niedrigen Oberflächenrauigkeit und kann auch bei in:joy und Signum composite beobachtet werden

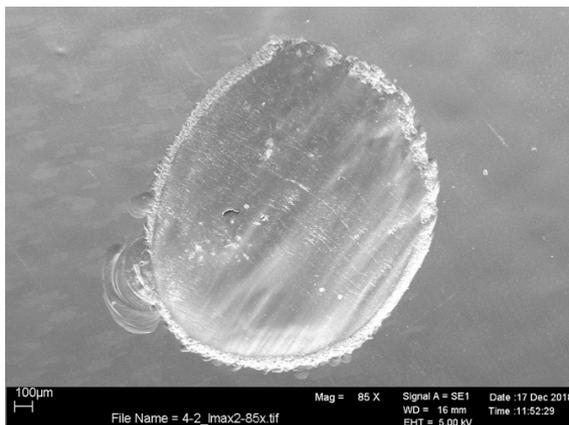


Abb. 30 - IPS e.max CAD. Am Rand der flachen Abrasionsmulde lassen sich feine Splitterungen der glasbasierten Glasur erkennen.

Die Mischung aus geringem Verschleiß am Antagonisten und moderatem Eigenverschleiß führte dazu, dass Signum composite, in:joy und Ceramage summiert einen geringeren Höhenverlust zeigten als IPS e.max CAD, das sich zwischen den Kompositen in der Mitte einordnete. Der Erhalt der vertikalen Dimension der Zähne ist entscheidend für das Gleichgewicht der biomechanischen, funktionellen und neuromuskulären Wechselwirkungen des stomatognathen Systems. Ästhetische Folgen und craniomandibuläre Dysfunktion können aus einer Störung dieses Gleichgewichtes resultieren⁹⁷. Von besonderem Bedarf ist ein geringer Höhenverlust daher vor allem bei großen Versorgung und prothetischen Komplettversorgungen eines Kiefers, da die gesamte Kaulast vom Versorgungsmaterial getragen wird⁹⁸. Die Ursache für die Unterschiede zwischen den Kompositen ist am ehesten in der Zusammenstellung der Materia-

lien begründet. Beeinflussende Faktoren sind Größe, Form und Menge der Füllkörper, die chemische Zusammensetzung, die Matrix sowie die Silanisierung und die Einbindung der Füllstoffe in die Matrix^{5,12,24,76,99,100}. Ein unterschiedlicher Einfluss der Thermolastwechsel auf die Materialien ist ebenfalls denkbar⁴⁴.

Für die vorliegende Untersuchung ist der Füllkörperanteil der Verblendkomposite im Gegensatz zu anderen Untersuchungen^{5,25,26} offenbar weniger entscheidend für deren Abrasionsverhalten. Signum composite, das 74% Füllkörper enthält, verhielt sich ähnlich wie in:joy, das einen Füllkörperanteil von lediglich 55% besitzt, während es sich beispielsweise von dialog Vario mit 74% Füllkörperanteil und SR Nexco mit 82%-83% Füllkörpern, unterschied. Auffällig ist jedoch, dass diejenigen Komposite den geringsten Substanzverlust am Schmelzantagonisten verursachten, die mikrogefüllt bzw. für deren Füller Siliziumdioxid und Präpolymerisate angegeben sind. Dazu zählen in:joy, Signum composite und SR Nexco. Diese Tendenz deckt sich mit anderen Untersuchungen⁶⁸. Eine Erklärung findet sich möglicherweise in der Porosität der SiO₂-Füllkörper, die das Eindringen der Matrix und damit einen starken Füller-Matrix-Verbund gewährleisten¹⁰¹, sodass Füllkörper weniger herausgelöst werden und als Schleifpartikel fungieren können. Darüber hinaus zeigten diese Materialien nach der rein maschinellen Politur auch die geringste Oberflächenrauigkeit, was diese Beobachtung ebenfalls beeinflussen könnte. Dialog Vario, für dessen Füllkörper lediglich Feinstglas mit Siliziumdioxid angegeben wird, zeigte den höchsten Verschleiß am Antagonisten, gefolgt von Gradia plus mit Glasfüllern und Präpolymerisaten. Auch Ceramage mit Zirkonsilikat als Füllstoff zeigte relativ hohe Verschleißwerte. Zwar führen sowohl SiO₂ als auch Zirkonoxidpartikel in Kompositen zu höheren Verschleißwerten³⁰, jedoch ist sorgfältig die Porosität von SiO₂ möglicherweise für einen besseren Verbund zur Matrix, sodass Zirkonsilikat, wie es in Ceramage enthalten ist, leichter herausgelöst werden kann und somit als Schleifstoff agiert. Die Angaben für dialog Vario und Gradia plus sind mit Feinstglas bzw. Glasfüllern sehr undifferenziert. Jedoch ist auch für diese Materialien ein schwächerer Verbund zwischen Matrix und Füllern denkbar. Auch die Größe der Füllstoffe könnte einen Einfluss auf die Abrasivität haben. Sie wird seitens der Hersteller jedoch für kein Material, abgesehen von Gradia plus, genau definiert, sodass Rückschlüsse nicht möglich sind. Dennoch scheint die Verwendung von Präpolymerisaten ein vielversprechender Ansatz zu sein, antagonistenfremde Komposite zu erschaffen. Um verlässliche Aussagen über die Rolle der Füllstoffart- und Größe für die Abrasion treffen zu können, wäre es interessant, experimentelle Komposite mit entsprechender Zusammensetzung miteinander zu vergleichen.

Die ermittelte gleichwärts gerichtete Korrelation zwischen Höhen- und Volumenverlust des Materials bzw. des Antagonisten ergeben sich durch die standardisierten geometrischen Formen der Prüfkörper und der präparierten Antagonisten. Sie werden durch eine andere Untersuchung⁷⁴ bestätigt. Daher überrascht die Erkenntnis, dass mit steigendem Höhenverlust auch der Volumenverlust steigt, nicht, sondern kann eher als Bestätigung für aussagekräftige Werte angesehen werden, die tatsächlich durch die Abrasion entstanden und nicht durch Ereignisse wie Abplatzungen oder anderweitig hervorgerufenen Materialverlust verfälscht wurden.

Zusätzlich wurde die Korrelation zwischen der Oberflächenrauigkeit und den Abrasionsparametern für die Materialien einzeln überprüft. Abgesehen von einer Ausnahme, wonach mit steigender Rauigkeit des Verblendkomposits SR Nexco dessen Höhenverlust sank, konnte für Komposite keine Korrelation festgestellt werden. Die Oberflächenrauigkeit von IPS e.max CAD korrelierte jedoch mit dem Verschleiß des Antagonisten (Höhe und Volumen). Wie bereits beschrieben hängt der Schmelzverschleiß hauptsächlich mit der Oberflächenhärte- und Rauigkeit des antagonisierenden Materials zusammen⁹⁵. Die fehlende Korrelation zwischen der Rauigkeit der Komposite und Schmelzabration bzw. die vorhandene Korrelation zwischen IPS e.max CAD und der Schmelzabration ist möglicherweise damit zu erklären, dass die Komposite, auch wenn sie unterschiedliche Rauigkeiten zeigten, mit maximal 0,070 µm bei dialog Vario, einen etwaigen kritischen Wert unterschritten, den IPS e.max CAD mit 0,997 µm überschritt. Außerdem gilt Lithiumdisilikatkeramik gegenüber Komposit als härter und geht daher ebenfalls mit einem höheren Schmelzverlust einher⁹⁵. Ferner zeigen glasierte Werkstoffe, was bei der vorliegenden Untersuchung lediglich auf IPS e.max CAD zutrifft, eine höhere Abrasion als polierte⁷², was die deutlichen Unterschiede ebenfalls begründet. Auch die allgemein niedrigere Biegefestigkeit der Komposite gegenüber Lithiumdisilikatkeramik³ ist in Betracht zu ziehen, da sie den Kompositen einen gewissen Grad an elastischer Verformbarkeit erlaubt. Möglicherweise resultiert daraus ein weniger aggressives Abrasionsverhalten dem Antagonisten gegenüber.

7 Schlussfolgerung

Innerhalb des Rahmens, den das Studiendesign steckt, lassen sich folgende Schlussfolgerungen ziehen:

Die untersuchten Materialeigenschaften der Verblendkomposite differieren sowohl untereinander als auch zur Kontrollgruppe IPS e.max CAD.

Das Lagerungsmedium hat signifikanten Einfluss auf die Verfärbung, die freie Oberflächenenergie und die Rauigkeit. Abhängig davon ist auch das Verbesserungspotenzial durch eine erneute Politur.

Die erneute Politur der untersuchten Materialien ermöglicht eine signifikante Verbesserung der Oberflächeneigenschaften und der Verfärbungsrate.

Hervorzuheben ist das Abrasionsverhalten einiger Verblendkomposite. Zwar lag ihre Abrasionsstabilität unter dem Niveau von IPS e.max CAD, dafür erwiesen sie sich als signifikant antagonistenschonender. Dies resultierte für Ceramage, in:joy, Signum composite und SR Nexco in einem ähnlichen oder niedrigeren Gesamthöhenverlust.

Der Schmelzverlust des Antagonisten korreliert nur für IPS e.max CAD mit der Oberflächenrauigkeit.

Signum composite zeigte unter den Verblendkompositen die insgesamt günstigsten Eigenschaften. Auch in:joy zeigte sich in einigen Eigenschaften ebenbürtig. Gradia plus fiel durch seine hohe Oberflächenrauigkeit und Verfärbungsrate bei mäßigem Abrasionsverhalten auf.

Generell lässt sich festhalten, dass die Eigenschaften moderner Verblendkomposite nicht an einzelnen Komponenten oder Faktoren wie der Stoffklasse (Mikro- oder Hybridfüllerkomposit) auszumachen sind. Entsprechende Pauschalaussagen scheinen durch die Weiterentwicklung der Füller- und Polymermatrixsysteme nicht mehr zuzutreffen. In Anbetracht auch älterer Untersuchungen scheinen Verblendkomposite eine vielversprechende Entwicklung vollzogen zu haben und es bleibt interessant, ob und wie weit das Potenzial der Verblendkomposite noch vergrößert werden kann.

8 Zusammenfassung

Diese Dissertation beschäftigt sich mit dem Vergleich von Verblendkompositen sechs unterschiedlicher Hersteller. Als Vergleichsgruppe wurde eine Lithiumdisilikatkeramik gewählt. In zwei Versuchen wurden einerseits die Verfärbungsneigung, die freie Oberflächenenergie sowie die Oberflächenrauigkeit und andererseits die Abrasionsbeständigkeit in Form von Höhen- und Volumenverlust ermittelt und auf eine Korrelation mit der Oberflächenrauigkeit geprüft.

Zur Untersuchung der Verfärbungsrate und der Oberflächeneigenschaften wurden zehn Prüfkörper pro Material und Lagerungsmedium hergestellt, nach einheitlichem Politurprotokoll poliert und für 14 Tage in destilliertem Wasser bei 37°C gelagert. Anschließend wurde jeweils ein Initialwert bestimmt und die Prüfkörper daraufhin in den entsprechenden Lagerungsmedien Curry-Lösung, Kaffee, Karottensaft, Rote-Bete-Saft und Rotwein gelagert. Nach 14 Tagen Lagerung bei 37°C wurden die drei Werte erneut erhoben und die Prüfkörper im Anschluss poliert und erneut gemessen. Die Verfärbungsrate wurde mittels Spektrophotometrie, die freie Oberflächenenergie mittels Kontaktwinkelmessung und die Oberflächenrauigkeit durch taktile Profilometrie ermittelt.

Es konnten in jedem Politurzustand signifikante Unterschiede einerseits unter den Verblendkompositen und andererseits zwischen den Kompositen und der Lithiumdisilikatkeramik beobachtet werden. Unter den Verblendkompositen erzielte Signum composite die geringste Verfärbungsrate und die niedrigste Oberflächenrauigkeit, während Gradia plus die insgesamt ungünstigsten Eigenschaften aufwies. Die durchweg signifikant niedrigste Verfärbungsrate und Oberflächenrauigkeit von IPS e.max CAD konnte nicht erreicht werden, jedoch zeigte Signum composite teilweise vergleichbar gute Werte und einige Gruppen von in:joy konnten ähnliche Rauigkeiten verzeichnen. Die höchste Zunahme der Rauigkeit zeigten die in Kaffee und Rote-Bete-Saft gelagerten Gruppen, wobei hier eher der Einfluss von Auflagerungen vermutet wird. Die signifikant höchsten Verfärbungsraten verursachte Curry-Lösung bei den Verblendkompositen und Karottensaft bei IPS e.max CAD. Die Reihenfolge der übrigen Färbemedien war für die Materialien individuell und es zeichneten sich keine Trends ab. Die Farbänderung lag mehrheitlich über dem klinisch akzeptablen Wert von $\Delta E_{ab}=3,3$, konnte aber mit einer Ausnahme durch die erneute Politur auf ein klinisch akzeptables Niveau gesenkt werden.

IPS e.max CAD zeigte die höchste Oberflächenenergie gefolgt von SR Nexco auf Grund des hohen Fülleranteils. Für die Verblendkomposite ließen sich ansonsten keine Tendenzen feststellen und es ergab sich für die untersuchten Gruppen ein eher inhomogenes Bild.

Zur Ermittlung des Abrasionsverhaltens wurden 16 Prüfkörper pro Material hergestellt und, mit Ausnahme von IPS e.max CAD, das glasiert wurde, nach einheitlichem Politurprotokoll maschinell poliert. Die Oberflächenrauigkeit wurde durch taktile Profilometrie ermittelt. Als Antagonisten wurden Höcker extrahierter Zähne zu einer standardisierten Geometrie präpariert. Anschließend wurden die Prüfkörper der Kausimulation mit 480.000 Kauzyklen mit 50 N bei gleichzeitigem Thermolastwechsel unterzogen. Die Abrasion wurde durch den Oberflächenvergleich der Ausgangs- und Endsituation der Prüfkörper und der Antagonisten mit Hilfe des Laserscanners LAS-20 und der Netzbearbeitungssoftware GOM untersucht. Höhen- und Volumenverlust der Materialien und Antagonisten korrelierten jeweils miteinander, eine Korrelation zur Oberflächenrauigkeit konnte mit einer Ausnahme nur für IPS e.max CAD nachgewiesen werden. Das Abrasionsverhalten der untersuchten Materialien differierte. IPS e.max CAD zeigte den geringsten Höhenverlust, gefolgt Signum composite, in:joy, Ceramage, dialog Vario, Gradia plus und SR Nexco mit dem höchsten Höhenverlust. Die geringste Abrasion am Zahnschmelz verursachten Signum composite, SR Nexco und in:joy, gefolgt von Ceramage, Gradia plus, dialog Vario und IPS e.max CAD. Daraus ergab sich, dass in:joy, Signum composite und Ceramage summiert einen gleichen oder niedrigeren Höhenverlust aufwiesen als IPS e.max CAD, die übrigen Materialien ordneten sich darüber ein.

Abschließend lässt sich festhalten, dass die Verblendkomposite zwar eine reduzierte Abrasionsresistenz gegenüber der Keramik besaßen, sich der Gesamthöhenverlust, der vor allem bei großen- und Vollkieferrestaurationen zum Tragen kommt, teilweise als ebenbürtig oder sogar geringer erwies.

Die vorliegende Untersuchung konnte zeigen, dass moderne Verblendkomposite dank der Entwicklung des Zusammenspiels von Matrix und Füller der Lithiumdisilikatkeramik nicht mehr in allen Bereich per se unterlegen sind. Einige Komposite zeigten in der vorliegenden Untersuchung mit IPS e.max CAD vergleichbare Ergebnisse. Die Eigenschaften variierten jedoch unter den verschiedenen Verblendkompositen zum Teil stark, sodass einige Komposite der Lithiumdisilikatkeramik auch deutlich unterlegen waren.

9 Verzeichnis

9.1 Literaturverzeichnis

1. Rathmann F, Bomicke W, Rammelsberg P, Ohlmann B. Veneered zirconia inlay-retained fixed dental prostheses: 10-Year results from a prospective clinical study. *J Dent* 2017.
2. Kinsel RP, Lin D. Retrospective analysis of porcelain failures of metal ceramic crowns and fixed partial dentures supported by 729 implants in 152 patients: Patient-specific and implant-specific predictors of ceramic failure. *J Prosthet Dent* 2009;101:388-394.
3. Stawarczyk B, Liebermann A, Eichberger M, Güth J-F. Evaluation of mechanical and optical behavior of current esthetic dental restorative CAD/CAM composites. *J Mech Behav Biomed Mater* 2016;55:1-11.
4. Um CM, Ruyter IE. Staining of resin-based veneering materials with coffee and tea. *Quintessence Int* 1991;22:377-386.
5. Condon J, Ferracane J. In vitro wear of composite with varied cure, filler level, and filler treatment. *J Dent Res* 1997;76:1405-1411.
6. Krämer A, Netuschil L, Simonis A. Plaqueanlagerung an verschiedenen Verblendkunststoffen—eine klinische Studie. *Dtsch Zahnärztl Z* 1990;482-484.
7. Asmussen E, Jørgensen KD. A microscopic investigation of the adaptation of some plastic filling materials to dental cavity walls. *Acta Odontol Scand* 1972;30:3-21.
8. Söderholm K-J, Zigan M, Ragan M, Fischlschweiger W, Bergman M. Hydrolytic degradation of dental composites. *J Dent Res* 1984;63:1248-1254.
9. Øysæd H, Ruyter IE. Composites for use in posterior teeth: mechanical properties tested under dry and wet conditions. *Journal of Biomedical Materials Research Part A* 1986;20:261-271.
10. Kappert H, Eichner K. *Zahnärztliche Werkstoffe und ihre Verarbeitung* Thieme, 2008.
11. El-Hejazi AA. Water sorption and solubility of hybrid and microfine resins-composite filling materials. *Saudi Dent J* 2001;13:139-142.
12. Janda R. Verblendkomposit Werkstoffwissenschaftliche Aspekte. *Quintessence Zahntechnik* 2000;26:55-64.
13. Setz J, Engel E. In vivo color stability of resin-veneered telescopic dentures: a double blind pilot study. *J Prosthet Dent* 1997;77:486-491.
14. Magne P, Silva M, Oderich E, Boff LL, Enciso R. Damping behavior of implant-supported restorations. *Clin Oral Implants Res* 2013;24:143-148.
15. Peutzfeldt A. Resin composites in dentistry: the monomer systems. *Eur J Oral Sci* 1997;105:97-116.
16. Asmussen E, Peutzfeldt A. *Influence of UEDMA, BisGMA and TEGDMA on selected mechanical properties of experimental resin composites*: Elsevier Ltd, 1998.
17. Bowen RL. Dental filling material comprising vinyl silane treated fused silica and a binder consisting of the reaction product of bis phenol and glycidyl acrylate: Google Patents, 1962.
18. Patel M, Braden M, Davy K. Polymerization shrinkage of methacrylate esters. *Biomaterials* 1987;8:53-56.
19. Bowen RL. Properties of a silica-reinforced polymer for dental restorations. *J Am Dent Assoc* 1963;66:57-64.
20. Rzanny A, Lengert M, Göbel R, Schmidt M, Küpper H. Dentale Werkstoffe und deren Verfärbungseigung. *ZWR* 2015;124:514-520.

21. Janda R, Roulet J-F, Latta M, Kaminsky M. Effect of exponential polymerization on color stability of resin-based filling materials. *Dent Mater* 2007;23:696-704.
22. Rzanny A, Göbel R, Küpper C. Moderne Verblendkomposite - ein werkstoffkundlicher Vergleich. *Dtsch Zahnarztl Z* 2007;62:733-746.
23. Rzanny A, Gobel R, Welker D. Quasistatische Prüfungen an 21 Fullungs-und Verblendkomposits. *ZWR* 1995;104:698-703.
24. Rzanny A, Gobel R, Welker D. Moderne Verblendkunststoffe-eine werkstoffkundliche Studie. *Quintessenze Zahntechnik* 2003;29:58-73.
25. St Germain H, Swartz ML, Phillips RW, Moore BK, Roberts TA. Properties of microfilled composite resins as influenced by filler content. *J Dent Res* 1985;64:155-160.
26. Staufenbiel A. Vergleichende werkstoffkundliche Untersuchungen marktgängiger und neu entwickelter Verblendkomposite. Jena: Friedrich-Schiller-Universität Jena, 2005.
27. Nagarajan VS, Jahanmir S, Thompson VP. In vitro contact wear of dental composites. *Dent Mater* 2004;20:63-71.
28. Lutz F, Imfeld T, Mörmann W. Komposits: Mikrofüller, Füllstoffgehalt und Polierbarkeit. *Swiss Dent* 1981;2:19-24.
29. Söderholm K-J, Yang MC, Garcea I. Filler particle leachability of experimental dental composites. *Eur J Oral Sci* 2000;108:555-560.
30. Suzuki S, Suzuki SH, Cox CF. Evaluating the antagonistic wear of restorative materials when placed against human enamel. *J Am Dent Assoc* 1996;127:74-80.
31. Grdic S. Experimentelle Langzeituntersuchung zur Verfärbung von Verblendkunststoffen in Abhängigkeit von der Polymerisationsdauer. Bonn: Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität, 2013.
32. Ceci M, Viola M, Rattalino D, Beltrami R, Colombo M, Poggio C. Discoloration of different esthetic restorative materials: A spectrophotometric evaluation. *Eur J Dent* 2017;11:149.
33. Kolbeck C, Rosentritt M, Behr M, Lang R, Handel G. Farbbeständigkeit von Verblendkompositen nach künstlicher Alterung, Verfärbungslagerung und Reinigung. *Dtsch Zahnarztl Z* 2003;14-18.
34. Zenthöfer A. Direkte und indirekte Bestimmung der Zahnfarbe im Farbsystem VITA Classical A1-D4. Heidelberg: Universität Heidelberg, 2013.
35. Sorensen JA, Torres TJ. Improved color matching of metal-ceramic restorations. Part I: A systematic method for shade determination. *J Prosthet Dent* 1987;58:133-139.
36. Schulze K, Tinschert J, Marshall S, Marshall G. Der Einfluss der Alterung auf die Farbbeständigkeit und Oberflächenbeschaffenheit von Kompositen. *Dtsch Zahnarztl Z* 2003;58:266-272.
37. ISO E. 11664-4 Colorimetry—Part 4: CIE 1976 L* a* b* Colour Space. CEN (European Committee for Standardization): Brussels, Belgium 2011.
38. Ruyter IE, Nilner K, Moller B. Color stability of dental composite resin materials for crown and bridge veneers. *Dent Mater* 1987;3:246-251.
39. Ragaim JC, Johnston WM. Minimum color differences for discriminating mismatch between composite and tooth color. *J Esthet Restor Dent* 2001;13:41-48.
40. Setz J, Lin W, Pfeifer H. Farbbeständigkeit lichtpolymerisierender Komposite. *Dtsch Zahnarztl Z* 1990;45:668-678.
41. Kentrou C, Papadopoulos T, Lagouvardos P. Color changes in staining solutions of four light-cured indirect resin composites. *Odontology* 2014;102:189-196.
42. Stober T, Gilde H, Lenz P. Color stability of highly filled composite resin materials for facings. *Dent Mater* 2001;17:87-94.

43. Khokhar Z, Razzoog M, Yaman P. Color stability of restorative resins. *Quintessence Int* 1991;22.
44. Stawarczyk B, Egli R, Roos M, Ozcan M, Hammerle CH. The impact of in vitro aging on the mechanical and optical properties of indirect veneering composite resins. *J Prosthet Dent* 2011;106:386-398.
45. Seher J, Viohl J. In-vitro-Verfärbungen von Kunststoffen durch Farbstoffe und UV-Strahlung. *Dtsch Zahnarztl Z* 1992;47.
46. Tavangar M, Bagheri R, Kwon T-Y, Mese A, Manton DJ. Influence of beverages and surface roughness on the color change of resin composites. *J Investig Clin Dent* 2018;9:e12333.
47. Falkensammer F, Arnetzl GV, Wildburger A, Freudenthaler J. Color stability of different composite resin materials. *The Journal of Prosthetic Dentistry* 2013;109:378-383.
48. Quirynen M, Bollen C. The influence of surface roughness and surface-free energy on supra-and subgingival plaque formation in man: A review of the literature. *J Clin Periodontol* 1995;22:1-14.
49. Angeli C. Werkstoffkundlicher Vergleich neu entwickelter Verblendkomposite. Jena: Friedrich-Schiller-Universität Jena, 2011.
50. Rzanny A, Welker D. Bearbeitung moderner Verblend-und Füllungskomposite. *Teamwork Interdisziplin J Proth Zahnheilkd* 2000;3:203-212.
51. Asmussen E, Peutzfeld A. Mechanical properties of heat treated restorative resins for use in the inlay/onlay technique. *Eur J Oral Sci* 1990;98:564-567.
52. Arocha MA, Basilio J, Llopis J, et al. Colour stainability of indirect CAD-CAM processed composites vs. conventionally laboratory processed composites after immersion in staining solutions. *J Dent* 2014;42:831-838.
53. Krüss GmbH. Freie Oberflächenenergie. Volume 2018. <https://www.kruss-scientific.com/de/service/schulung-theorie/glossar/freie-oberflaechenenergie/>, 2018.
54. Krüss GmbH. Methode nach Owens, Wendt, Rabel und Kaelble (OWRK). Volume 2018. <https://www.kruss-scientific.com/de/service/schulung-theorie/glossar/methode-nach-owens-wendt-rabel-und-kaelble-owrk/>, 2018.
55. Quirynen M, Marechal M, Busscher HJ, Weerkamp AH, Darius PL, van Steenberghe D. The influence of surface free energy and surface roughness on early plaque formation. An in vivo study in man. *J Clin Periodontol* 1990;17:138-144.
56. Liu R, Lei T, Dusevich V, et al. Surface characteristics and cell adhesion: a comparative study of four commercial dental implants. *J Prosthodont* 2013;22:641-651.
57. Astasov-Frauenhoffer M, Glauser S, Fischer J, Schmidli F, Waltimo T, Rohr N. Biofilm formation on restorative materials and resin composite cements. *Dent Mater* 2018.
58. Tanner J, Robinson C, Söderling E, Vallittu P. Early plaque formation on fibre-reinforced composites in vivo. *Clin Oral Investig* 2005;9:154-160.
59. Krüger J, Maletz R, Ottl P, Warkentin M. In vitro aging behavior of dental composites considering the influence of filler content, storage media and incubation time. *PLoS One* 2018;13:e0195160.
60. Schuth M, Buerakov W. *Handbuch optische Messtechnik: praktische Anwendungen für Entwicklung, Versuch, Fertigung und Qualitätssicherung*: Carl Hanser Verlag GmbH Co KG, 2017.
61. Mahr. Kenngröße Ra. Volume 2018. <https://www.mahr.com/Mahr-Parameter/html/deutsch/MarSurf/mittenrauwerte.html>: Mahr GmbH, 2018.
62. Volk R. *Rauheitsmessung: Theorie und praxis*: Beuth Verlag, 2018.

63. Newman H. Diet, attrition, plaque and dental disease. *Br Dent J* 1974;136:491.
64. Quirynen M. Anatomical and inflammatory factors influence bacterial plaque growth and retention in man: KUL, 1986.
65. Bollenl CML, Lambrechts P, Quirynen M. Comparison of surface roughness of oral hard materials to the threshold surface roughness for bacterial plaque retention: A review of the literature. *Dent Mater* 1997;13:258-269.
66. Jain V, Platt JA, Moore K, Spohr AM, Borges GA. Color stability, gloss, and surface roughness of indirect composite resins. *J Oral Sci* 2013;55:9-15.
67. Lambrechts P, Debels E, Van Landuyt K, Peumans M, Van Meerbeek B. How to simulate wear? Overview of existing methods. *Dent Mater* 2006;22:693-701.
68. Heintze S, Faouzi M, Rousson V, Özcan M. Correlation of wear in vivo and six laboratory wear methods. *Dent Mater* 2012;28:961-973.
69. Engel A. Untersuchung von Verfärbungen von fünf lichthärtenden Verblendkunststoffen durch sieben im Alltag gebräuchliche, verfärbende Substanzen: Freie Universität Berlin, 2003.
70. Ferracane J, Mitchem J, Condon J, Todd R. Wear and marginal breakdown of composites with various degrees of cure. *J Dent Res* 1997;76:1508-1516.
71. Sabbagh J, Vreven J, Leloup G. Dynamic and static moduli of elasticity of resin-based materials. *Dent Mater* 2002;18:64-71.
72. Heintze S, Cavalleri A, Forjanic M, Zellweger G, Rousson V. Wear of ceramic and antagonist—a systematic evaluation of influencing factors in vitro. *Dent Mater* 2008;24:433-449.
73. Heintze SD, Zappini G, Rousson V. Wear of ten dental restorative materials in five wear simulators—Results of a round robin test. *Dent Mater* 2005;21:304-317.
74. Heintze S, Cavalleri A, Forjanic M, Zellweger G, Rousson V. A comparison of three different methods for the quantification of the in vitro wear of dental materials. *Dent Mater* 2006;22:1051-1062.
75. Riehle M, Simmchen E. *Grundlagen der Werkstofftechnik*: Wiley-VCH, 2009.
76. Rzanny A, Dörnbrack M, Welker D, Facht M. Optimierung der Oberflächenqualität von Kompositen unterschiedlicher Indikation. *Dtsch Zahnärztl Z* 2003;58:533-537.
77. Sripetchdanond J, Leevailoj C. Wear of human enamel opposing monolithic zirconia, glass ceramic, and composite resin: An in vitro study. *The Journal of Prosthetic Dentistry* 2014;112:1141-1150.
78. Gresnigt MM, Kalk W, Ozcan M. Randomized clinical trial of indirect resin composite and ceramic veneers: up to 3-year follow-up. *J Adhes Dent* 2013;15:181-190.
79. Schafmeister R. Calculation of the integrated distance. <https://support.gom.com/display/KNOWLEDGE/Calculation+of+the+integrated+distance>: GOM GmbH, 2018.
80. Wolf KL. *Physik und Chemie der Grenzflächen: Erster Band Die Phänomene im Allgemeinen*: Springer-Verlag, 2013.
81. Lambrechts P, Braem M, Vuylsteke-Wauters M, Vanherle G. Quantitative in vivo wear of human enamel. *J Dent Res* 1989;68:1752-1754.
82. Hellwig E, Klimek J, Attin T. *Einführung in die Zahnerhaltung*: Deutscher Ärzteverlag, 2009.
83. Guler AU, Yilmaz F, Kulunk T, Guler E, Kurt S. Effects of different drinks on stainability of resin composite provisional restorative materials. *The Journal of prosthetic dentistry* 2005;94:118-124.
84. Sarac D, Sarac YS, Kulunk S, Ural C, Kulunk T. The effect of polishing techniques on the surface roughness and color change of composite resins. *The Journal of Prosthetic Dentistry* 2006;96:33-40.

85. PubChem. Curcumin. Volume 2018. PubChem: nlm PubChem Identifier CID 969516.
86. Stawarczyk B, Sener B, Trottmann A, Roos M, Özcan M, Hämmerle C. Discoloration of manually fabricated resins and industrially fabricated CAD/CAM blocks versus glass-ceramic: effect of storage media, duration, and subsequent polishing. *Dent Mater J* 2012;31:377-383.
87. Ertas E, Gueler AU, Yucel AC, Koepuelue H, Gueler E. Color stability of resin composites after immersion in different drinks. *Dent Mater J* 2006;25:371-376.
88. Reis AF, Giannini M, Lovadino JR, Ambrosano GM. Effects of various finishing systems on the surface roughness and staining susceptibility of packable composite resins. *Dent Mater* 2003;19:12-18.
89. Pratten D, Johnson G. An evaluation of finishing instruments for an anterior and a posterior composite. *J Prosthet Dent* 1988;60:154-158.
90. Strassler H, Bauman G. Current concepts in polishing composite resins. *Practical periodontics and aesthetic dentistry: PPAD* 1993;5:12-17.
91. Li Y, Swartz M, Phillips R, Moore B, Roberts T. Materials science effect of filler content and size on properties of composites. *J Dent Res* 1985;64:1396-1403.
92. Vivadent I. IPS e. max® CAD - Wissenschaftliche Dokumentation. Dr Kathrin Fischer / Petra Bühler-Zemp / Dr Thomas Völkel 2011
93. Ernst C. Update Komposite Teil 2–Eine Einteilung der Kompositmaterialien. *ZMK. Volume 2017: ZM online*, 2010:198-206.
94. Nassar U, Meyer AE, Ogle RE, Baier RE. The effect of restorative and prosthetic materials on dental plaque. *Periodontol* 2000 1995;8:114-124.
95. Stawarczyk B, Özcan M, Trottmann A, Schmutz F, Roos M, Hämmerle C. Two-body wear rate of CAD/CAM resin blocks and their enamel antagonists. *The Journal of prosthetic dentistry* 2013;109:325-332.
96. Kadokawa A, Suzuki S, Tanaka T. Wear evaluation of porcelain opposing gold, composite resin, and enamel. *The Journal of prosthetic dentistry* 2006;96:258-265.
97. Dietschi D, Argente A. A comprehensive and conservative approach for the restoration of abrasion and erosion. Part I: concepts and clinical rationale for early intervention using adhesive techniques. *European Journal of Esthetic Dentistry* 2011;6.
98. Kunzelmann K-H. Verschleissanalyse und-quantifizierung von Füllungsmaterialien in vivo und in vitro: Shaker, 1998.
99. Oliveira GUD, Mondelli RFL, Charantola Rodrigues M, Franco EB, Ishikiriyama SK, Wang L. Impact of filler size and distribution on roughness and wear of composite resin after simulated toothbrushing. *Journal of Applied Oral Science* 2012;20:510-516.
100. Manhart J, Kunzelmann K-H, Chen H, Hickel R. Mechanical properties and wear behavior of light-cured packable composite resins. *Dent Mater* 2000;16:33-40.
101. Knobloch L, Kerby R, Seghi R. Wear resistance of posterior condensable composite resins. *J Dent Res* 1999;78:447.

9.2 Abkürzungsverzeichnis

Bis-GMA	Bisphenolglycidylmethacrylat
TEGDMA	Triethylenglycoldimethacrylat
UDMA	Urethandimethacrylat
HEMA	Hydroxyethylmethacryla
PMMA	Polymethylmethacrylat
Hz	Hertz
sek	Sekunden
min	Minuten
N	Newton
kV	Kilovolt
cm	Zentimeter
mm	Millimeter
µm	Mikrometer
nm	Nanometer
mN/m	Millinewton pro Meter
mm/s	Millimeter pro Sekunde
Gew%	Gewichtsprozent
FOE	Freie Oberflächenenergie
Ra	arithmetische Mittenrauwert
REM	Rasterelektrodenmikroskop
CIE	Commision Internationale de l'Éclairage

9.3 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 - Untersuchte Materialien und deren Zusammensetzung	28
Tabelle 2 - Verwendete Färbelösungen	30
Tabelle 3 - Geräte und Polymerisationszeiten	31
Tabelle 4 - Abkürzungen der Materialien.....	34
Tabelle 5 - Abkürzungen der Färbelösungen.....	34
Tabelle 6 - Einstellungen für die Kausimulation	40
Tabelle 7 - Deskriptive Statistik der in Curry-Lösung gelagerten Gruppen.....	44
Tabelle 8 - Deskriptive Statistik der in Kaffee gelagerten Gruppen	52
Tabelle 9 - Deskriptive Statistik der in Karottensaft gelagerten Gruppen.....	59
Tabelle 10 - Deskriptive Statistik der in Rote-Bete-Saft gelagerten Gruppen	66
Tabelle 11 - Deskriptive Statistik der in Rotwein gelagerten Gruppen	74
Tabelle 12 - Deskriptive Statistik des Materials Ceramage.....	82
Tabelle 13 - Deskriptive Statistik des Materials dialog Vario.....	86
Tabelle 14 - Deskriptive Statistik des Materials Gradia plus	90
Tabelle 15 - Deskriptive Statistik des Materials in:joy	94
Tabelle 16 - Deskriptive Statistik des Materials Signum composite	98
Tabelle 17 - Deskriptive Statistik des Materials SR Nexco	102
Tabelle 18 - Deskriptive Statistik des Materials IPS e.max CAD	106
Tabelle 19 - Deskriptive Statistik der Abrasionsbeständigkeit.....	110
Tabelle 20 - Korrelationen der untersuchten Abrasionsparameter	113
Tabelle 21 - Korrelation der Oberflächenrauigkeit mit den Abrasionsparametern.....	114

9.4 Abbildungsverzeichnis

Abb. 1 - REM-Aufnahme der Abrasionsfläche eines Prüfkörpers.....	15
Abb. 2 - Schematische Darstellung der Oberflächenspannung.....	19
Abb. 3 - Schematische Darstellung des Kontaktwinkels.....	19
Abb. 4 - Schematische Darstellung von Grob- und Feinprofil	21
Abb. 5 - Mittenrauwert Ra.....	22
Abb. 6 - Übersicht des Studiendesigns.....	29
Abb. 7 - 3D-Darstellung des Kompositprüfkörpers	31
Abb. 8 - Silikonform für Kompositprüfkörper.....	31
Abb. 9 - Befüllen der Silikonform.....	31
Abb. 10 - Ausgebetteter Prüfkörper	31
Abb. 11 - Fixation eines Prüfkörpers auf der Politurplatte.....	33
Abb. 12 - Prüfkörper im Styroporschwimmer	33
Abb. 13 - Pastenpolitur.....	33
Abb. 14 - Prüfkörper nach dem Finishing	33
Abb. 15 - Eingebetteter Prüfkörper, hier beispielhaft dialog Vario.....	36
Abb. 16 - Vorbereiteter Schmelzhöcker	36
Abb. 17 - Fertig vorbereiteter Schmelzantagonist	36
Abb. 18 - Halterung.....	37
Abb. 19 - Rauigkeitsmessung mit Hilfe des Profilometers MarSurf M400	39
Abb. 20 - Kausimulator CS-4	40
Abb. 21 - Punktwolke eines Schmelzantagonisten.....	41
Abb. 22 - Flächenvergleich eines Antagonisten	41
Abb. 23 - Graphische Darstellung des summierten Höhenverlustes.....	111
Abb. 24 - Ceramage.....	129
Abb. 25 - dialog Vario.....	129
Abb. 26 - Gradia plus	129
Abb. 27 - in:joy.....	129
Abb. 28 - Signum composite	130
Abb. 29 - SR Nexco	130
Abb. 30 - IPS e.max CAD	130

10 Danksagung

Bei allen, die mich während der Entstehung dieser Arbeit unterstützt haben, möchte ich mich herzlich bedanken.

Mein besonderer Dank gilt Bogna Stawarczyk, die es mir ermöglicht hat, unter ihrer Betreuung zu promovieren und mich intensiv und engagiert bis zur Vollendung der Arbeit hingebungsvoll unterstützt hat.

Auch Anja Liebermann möchte ich für ihre engagierte Betreuung und die Unterstützung beim Überwinden aller kleinerer und größerer Hürden danken.

Dem Werkstoffkunde-Team, das mich stets ermutigt hat und mit Rat und Tat hilfreich zur Seite stand, insbesondere Nina Lümke für die Unterstützung bei der Auswertung und Marlis Eichberger für ihre Unterstützung bei der Versuchsdurchführung, danke ich.

Bedanken möchte ich mich auch bei Sebastian Spintzyk aus der Sektion „Medizinische Werkstoffkunde und Technologie“ des Universitätsklinikums Tübingen für die Anfertigung der REM-Aufnahmen.

Meine tiefe Dankbarkeit gilt meinen Eltern, deren Großzügigkeit und Unterstützung mir den Lebensweg bis hierher erst ermöglicht haben.