

**AUS DEM MEDIZINISCHEN ZENTRUM FÜR ZAHN-, MUND- UND
KIEFERHEILKUNDE
DER PHILIPPS-UNIVERSITÄT MARBURG**

(Geschäftsführender Direktor: Prof. Dr. U. Lotzmann)

- Abteilung für Zahnerhaltung -
(Direktor: Prof. Dr. V. Stachniss)

**In-vitro Untersuchung zum Einfluss des
Polymerisationsverfahrens auf die Härte von
Befestigungsmaterialien nach Polymerisation durch Keramik
hindurch**

Inaugural – Dissertation

zur Erlangung des Doktorgrades der Zahnmedizin
dem Fachbereich Medizin
der Philipps-Universität Marburg
vorgelegt

von

Mareike Jeromin

aus

Gelsenkirchen

Marburg 2008

Angenommen vom Fachbereich Medizin
der Philipps-Universität Marburg am 19.06.2008

Gedruckt mit Genehmigung des Fachbereichs

Dekan: Prof. Dr. med. Matthias Rothmund
Referent: Prof. Dr. med. dent. Vitus Stachniss
Koreferent: Prof. Dr. med. dent. Michael Gente

Meiner Familie gewidmet.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung und Problemstellung	1
2. Literaturübersicht	2
2.1. Literaturrecherche	2
2.2. Photoinitiatoren in Befestigungsmaterialien	3
2.3. Adhäsive Befestigungskomposite	5
2.3.1. Lichthärtende Komposite	5
2.3.2. Dualhärtende Komposite	7
2.4. Polymerisationsverfahren	8
2.4.1. Polymerisationslicht von Halogenlampen	8
2.4.2. Polymerisationslicht von Plasmalampen	9
2.4.3. Polymerisationslicht von LED-Lampen	10
2.5. Keramik	12
2.6. Härtemessverfahren	14
2.6.1. Härtemessverfahren zur Polymerisationsbeurteilung	14
2.6.2. Härtemessverfahren nach Vickers	15
2.6.3. Härtemessverfahren nach Knoop	16
2.6.4. Härtemessverfahren nach Barcol	17
3. Zielsetzung der vorliegenden Arbeit	19
4. Material und Methode	21
4.1. Versuchsdesign	21
4.2. Versuchsaufbau	22
4.3. Überprüfung der Energieleistung	22
4.4. Herstellung der Prüfkörper	23
4.5. Versuchsgruppen	26
4.6. Messungen und Lagerung der Prüfkörper	27
4.7. Deskriptive Statistik	28

5. Ergebnisse	29
5.1. Ergebnisse der Energieleistung mittels Radiometer	29
5.2. Oberflächenhärte der Referenzproben	30
5.2.1. Oberflächenhärte der Referenzproben nach Polymerisation mit der Halogenlampe Elipar TriLight®	30
5.2.2. Oberflächenhärte der Referenzproben nach Polymerisation mit der Plasmalampe <i>crealight</i> ®	30
5.2.3. Oberflächenhärte der Referenzproben nach Polymerisation mit der LED-Lampe Elipar FreeLight 2®	30
5.3. Oberflächenhärte der Komposit-Prüfkörper	31
5.3.1. Oberflächenhärte der Komposite nach Polymerisation mit der Halogenlampe Elipar TriLight®	31
5.3.2. Oberflächenhärte der Komposite nach Polymerisation mit der Plasmalampe <i>crealight</i> ®	36
5.3.3. Oberflächenhärte der Komposite nach Polymerisation mit der LED-Lampe Elipar FreeLight 2®	41
5.4. Statistische Tests	46
5.4.1. Prüfung der Signifikanz	46
5.5. Einfluss der Polymerisationslampe auf die Oberflächenhärte	47
5.5.1. Komposit RelyX Unicem®	47
5.5.2. Komposit Ambarino Flow®	51
5.5.3. Komposit Duo Cement plus®	55
5.6. Einfluss der Keramikschichtstärke auf die Oberflächenhärte bezogen auf die Referenzwerte	59
5.6.1. Komposit RelyX Unicem®	59
5.6.2. Komposit Ambarino Flow®	63
5.6.3. Komposit Duo Cement plus®	67

6. Diskussion	71
6.1. Material und Methode	71
6.1.1. Auswahl der Lichtquellen für die Kompositpolymerisation	71
6.1.2. Auswahl der Komposite	73
6.1.3. Auswahl der Keramik	75
6.1.4. Herstellung der Prüfkörper	76
6.1.5. Lagerung	76
6.1.6. Härtemessverfahren	77
6.2. Ergebnisse	79
6.2.1. Einfluss des Polymerisationsverfahrens	79
6.2.2. Einfluss der Keramikschichtstärke	80
6.2.3. Einfluss des Befestigungsmaterials	81
6.3. Abschließende Wertung der Ergebnisse	82
6.4. Klinische Schlussfolgerung	84
7. Zusammenfassungen	85
7.1. Zusammenfassung für das Rigorosum	85
7.2. Zusammenfassung - Marburger Bibliographie	89
7.3. Zusammenfassung – Abstrakt (deutsch)	90
7.4. Zusammenfassung – Abstract (englisch)	91
8. Literaturverzeichnis	92
9. Materialverzeichnis	105
10. Danksagung	106
11. Tabellarischer Lebenslauf	Fehler! Textmarke nicht definiert.
12. Verzeichnis Akademischer Lehrer	107
13. Ehrenwörtliche Erklärung	Fehler! Textmarke nicht definiert.

1. Einleitung und Problemstellung

Komposite sind aus der Zahnmedizin nicht mehr wegzudenken. Einerseits ermöglichen sie eine adhäsive, dauerhafte und ästhetisch hochwertige Lösung zur Front- und Seitenzahnrestauration und andererseits das adhäsive Befestigen von keramischen Restaurationen (Inlays, Veneers, Kronen, Brücken). Bei den Befestigungskompositen werden rein lichthärtende von dualhärtenden (licht- und chemischhärtenden) Systemen unterschieden. In fast allen Befestigungskompositen dient Campherchinon als Photoinitiator, da die Aushärtung der Komposite die Verwendung von Polymerisationslampen erfordert. Mit einem Absorptionsmaximum bei 468 nm wird dieser durch elektromagnetische Strahlung aktiviert. Hierzu wurden neben konventionellen Halogenlampen in den 80er Jahren Plasma- und im Jahr 2001 LED-Lampen eingeführt, deren Emission im Bereich des blauen Lichts ($\lambda = 410 - 500$ nm) liegt, welches in der Lage ist, den im Komposit enthaltenen Photoinitiator anzuregen und damit die Polymerisation zu initiieren. Die vollständige Polymerisation der Monomere und die optimale Zusammensetzung der Materialien sind für den langfristigen klinischen Erfolg von Kompositen, sei es als ästhetisches Restaurationsmaterial oder adhäsives Befestigungskomposit, von entscheidender Bedeutung. Unvollständig polymerisierte Restaurationen führen zu unzureichenden chemischen, mechanischen und physikalischen Materialeigenschaften, was den Langzeiterfolg des Materials deutlich reduziert. Ein wesentlicher Parameter des adhäsiven Zementierens keramischer Restaurationen stellt neben dem Befestigungskomposit und der Lichtquelle die zu durchstrahlende Keramik dar. Schichtstärke, Farbe und Opazität haben einen direkten Einfluss auf die Polymerisationstiefe und somit auch auf die Konversionsrate des Komposits. Ziel der adhäsiven Befestigung keramischer Restaurationen ist ein möglichst langlebiger, kraftschlüssiger und bakteriendichter Verbund zwischen Restauration und Zahnhartsubstanz. Somit ergibt sich die Fragestellung, ob die Auswahl eines bestimmten Polymerisationsverfahrens und die Dicke der zu durchstrahlenden Keramik einen Einfluss auf die Konversionsrate eines Befestigungskomposits haben.

2. Literaturübersicht

2.1. Literaturrecherche

Die Literaturrecherche der vorliegenden Dissertation wurde vorwiegend im Internet aber auch per Handsuche durchgeführt. Im Internet wurde hauptsächlich in der Datenbank „PubMed“ nach englischsprachigen Artikeln unter der Adresse <http://www.ncbi.nlm.nih.gov> recherchiert. Hierbei wurden die Stichwörter „light curing“, „depth of cure“, „dual curing composite“, „Barcol hardness and composite“, „resin cement and ceramic“, „polymerization through ceramic“ verwendet. Eine andere Methode zur Literatursuche im Internet, bestand in der Verwendung der Suchmaschine „google“. Auch hier wurde mit den oben genannten Stichwörtern gesucht.

Aufgrund der geringen Erfassung der deutschsprachigen Literatur in der Datenbank „PubMed“ wurden Veröffentlichungen online und / oder per Handsuche in den drei größten deutschsprachigen zahnärztlichen Zeitschriften: Deutsche Zahnärztliche Zeitschrift (<http://www.zahnheilkunde.de/start>), Österreichische Zeitschrift für Stomatologie und die Schweizer Monatsschrift für Zahnmedizin (<http://www.sso.ch/index.cfm>), für die Jahrgänge 1990 bis Ende 2006 herausgesucht. Es fanden sich einige einschlägige Artikel.

2.2. Photoinitiatoren in Befestigungsmaterialien

Unter Polymerisation versteht man die chemische Verknüpfung zahlreicher kleiner identischer Moleküle, den Monomeren, zu einem Makromolekül, dem Polymer. Dieses entsteht im Komposit unter Einwirkung von Licht mit einem Wellenlängenbereich von 400-490 nm. Hierzu sind fotosensible Moleküle - die Photoinitiatoren - notwendig [Benz et al., 2000]. Durch die Aktivierung des Photoinitiators - ungeachtet welcher Technik - werden durch Bildung von freien Radikalen, die im Befestigungsmaterial befindlichen Monomere durch Öffnen der ungesättigten Doppelbindungen angeregt, den radikalischen Polymerisationsprozess in Gang zu setzen. Diese Reaktion führt letztlich zu einer Vernetzung der Moleküle untereinander und somit zu einer Verfestigung des Restaurationsmaterials [Peutzfeldt, 2001; Ernst, 2002]. Dieser Prozess - die Polymerbildung - hält so lange an, bis im Idealfall alle zur Verfügung stehenden freien Radikale gebunden sind. Ein hoher Polymerisationsgrad ist bedeutsam, da nicht vollständig polymerisiertes Komposit einerseits durch die Einwirkung von Restmonomeren zu Pulpairritationen führen kann und andererseits Qualitätsminderungen hinsichtlich der mechanischen und physikalischen Eigenschaften resultieren [Ernst et al., 1996; Peutzfeldt, 2001; Ernst, 2002].

Zuerst wurden hierzu Geräte mit Halogenlampen für die Lichtpolymerisation eingesetzt, bis dann die Plasmalampen und zuletzt die LED-basierten Geräte hinzukamen. Die zwischenzeitlich eingeführten Argon-Laser konnten sich nicht durchsetzen [Ernst, 2002]. Alle zur Polymerisation verwendeten Polymerisationslampen generieren blaues Licht. Dieses regt den in den meisten licht- oder dualaktivierten Befestigungsmaterialien enthaltenen Photoinitiator Campherchinon (CQ) an, der im Wellenlängenbereich von 360-520 nm, mit einem Maximum bei 468 nm, aktivierbar ist [Tiara et al., 1988; Ernst, 2002; Jung et al., 2001 und 2006; Rasetto et al., 2001; Uhl et al., 2003]. Campherchinon gehört zur Gruppe der α -Diketonverbindungen (0,17-1,03 Gew.% in Kompositen). Es wird oftmals in Kombination mit organischen Aminen, wie zum Beispiel dem DMAEMA=Dimethylaminoethylmethacrylat oder mit aromatischen tertiären Aminen wie zum Beispiel dem DHEPT=N,N-bis[2-hydroxyethyl]-p-toluidin, welche als Akzelerator fungieren, verwendet [Lutz et al., 1992; Ernst et al., 1996; Peutzfeldt, 2001; Rasetto et al., 2001; Schroeder et

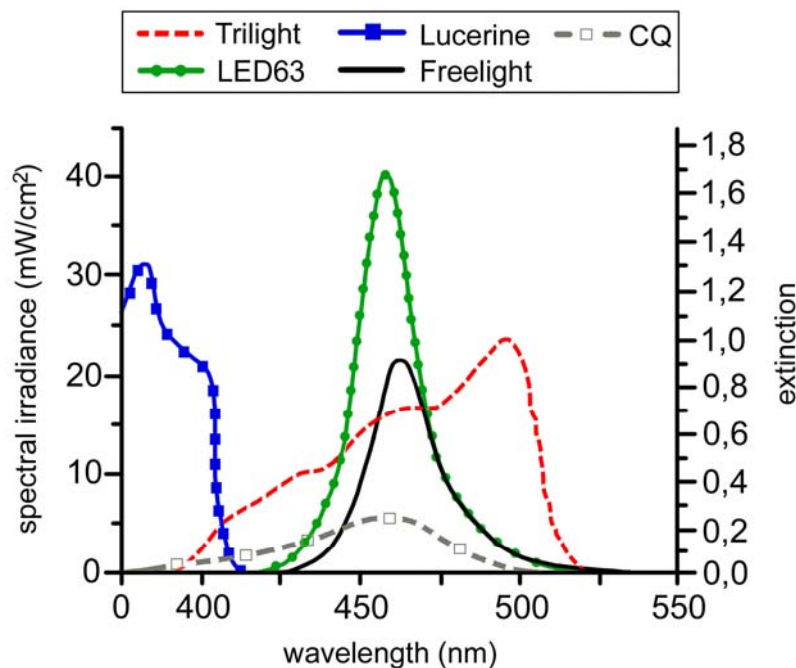
al., 2007]. Campherchinon / Amin-Initiator-Systeme stellen heutzutage den Photoinitiator der Wahl dar und alle bekannten Hersteller verwenden ihn in unterschiedlicher Konzentration zur Herstellung ihrer Komposite [*Schroeder et al.*, 2006].

Alternative Initiatorsysteme oder Co-Initiatoren - bestehend aus Oxidations- und Reduktionsmitteln - wie zum Beispiel 1-Phenyl-1,2-Propanedione (PPD) und Lucerine (TPO), welche in einigenOrmoceren und Kompositen verwendet werden, haben ein Absorptionsmaximum unter 450 nm. Sie werden vor allem bei sehr hellen Kompositrestaurationen und / oder zur Versorgung von gebleichten Zähnen eingesetzt, da die Eigenfarbe des Campherchinons zu gelb ist [*Hofmann et al.*, 2001 und 2002; *Schroeder et al.*, 2007]. Als Beispiel sind hier Tetric bleach[®] (3M ESPE, Seefeld) oder Definite[®] (Degussa, Hanau) zu nennen. Aufgrund des engen Emissionsspektrums von LED- und Plasmalampen können diese Kompositmaterialien mit ihnen nur unzureichend oder gar nicht gehärtet werden [*Munksgaard et al.*, 2000; *Hofmann et al.*, 2000, 2001 und 2002; *Rasetto et al.*, 2001; *Uhl et al.*, 2003]. Zur Polymerisation werden hierzu laut Herstellerangaben Halogenlicht-Geräte empfohlen.

Hofmann et al. konnten in einer Studie nachweisen, dass Kompositmaterialien, die in höheren Mengen Co-Initiatoren zum Campherchinon enthalten nach Polymerisation mit Plasmalampen geringere Knoop-Härten aufwiesen als nach Polymerisation mit Halogenlampen [*Hofmann et al.*, 2000]. Eine Studie von Uhl et al. bestätigte denselben Effekt mit LED-Lampen [*Uhl et al.*, 2002].

Eine inadäquate Polymerisation ist gekennzeichnet durch eine geringe Monomer-Polymer-Konversionsrate mit einem hohen Anteil von Restdoppelbindungen, die letztlich zu einer Pulpa-Irritation oder gar zur Devitalisierung des Markorganes führen kann [*Ozyesil et al.*, 2004].

Das Verhältnis der Lichtspektren der unterschiedlichen Polymerisationslampen zeigt Abb. 1.



[Uhl et al., 2003]

Abb. 1: Lichtspektrum einer Halogen- (Trilight), einer LED- (Freelight) und einer LED63-Lampe im Vergleich zum Absorptionsspektrum des Fotoinitiators Campherchinon (CQ) und Lucerine.

2.3. Adhäsive Befestigungskomposite

2.3.1. Lichthärtende Komposite

Die Verwendung von rein lichthärtenden Befestigungskompositen bietet für das adhäsive Zementieren keramischer Werkstücke entscheidende anwendungs- und materialtechnische, aber auch klinische Vorteile im Vergleich zu den chemischen Befestigungszementen. Hierzu gehören: kein Anmischen und damit ein Ausschluss von Dosierungsfehlern, ausreichende Verarbeitungszeit, Polymerisation mit einer Konversionsrate von 65 % bis 80 %, sofortiges Ausarbeiten und einfache Applikation [Hickel et al., 1992; Lutz et al., 1992; Hofmann et al., 2001]. Im Wesentlichen entspricht ihre Zusammensetzung

denen der Füllungskomposite. Sie bestehen aus Monomeren (Bis-GMA / TEGDMA), organischen und / oder anorganischen Füllstoffen, Initiatoren, Co-Initiatoren, Stabilisatoren und anderen Zusätzen. Der meist geringere Anteil von Füllstoffen im Vergleich zu Füllungskompositen gewährleistet die Fließfähigkeit und dadurch eine gleichmäßige Verteilung zwischen Restauration und Zahn. Grundsätzlich lässt sich sagen, dass die mechanischen Eigenschaften der Befestigungskomposite, ob nun licht- oder dualhärtend durch den Typ und die Zusammensetzung der Matrix, den Füllertyp, den Füllergehalt und das Polymerisationsverfahren beeinflusst werden [Hofmann et al., 2000; Peutzfeldt et al., 2000; Asmussen et al., 2003].

Durch den Lichteintritt werden in Kompositen Radikale freigesetzt und die Polymerisationsreaktion gestartet. Da der Polymerisationsprozess auch nach der Belichtung weiterläuft, kommt es zu einer Nachhärtung, die in den ersten 10 Minuten am höchsten ist. Die Endhärte wird nach 3-24 Stunden erreicht [Leung et al., 1985; Lutz et al., 1992; Kamada et al., 2001; Bärwald, 2005 und 2006].

Die Härte eines lichthärtenden Befestigungskomposits, bedingt durch die Konversionsrate, ist abhängig von der Schichtstärke und der Farbe der einzusetzenden Restauration, der Lichtintensität und der Bestrahlungsdauer der Polymerisationslampe sowie vom Initiatorgehalt des Komposites und dem Komposittyp, der Monomermatrix und dem Füllergehalt [Ernst et al., 1998; Munksgaard et al., 2000; Peutzfeldt et al., 2000; Rasetto et al., 2001; Asmussen et al., 2003]. Aus diesem Grund sollten Polymerisationsgeräte Licht in einem Wellenlängenbereich von 400-500 nm mit ausreichender Intensität generieren, um den verwendeten Initiator optimal anzuregen [Jung et al., 2006]. Eine geringe Konversionsrate reduziert nicht nur die Polymerisationstiefe und erhöht den Restmonomergehalt, sondern wirkt sich auch negativ auf die physikalischen Eigenschaften des Befestigungskomposits aus [Munksgaard et al., 2000].

2.3.2. Dualhärtende Komposite

Die Befestigung von Keramik- und Kompositinlays mit dualhärtenden Kompositen hat sich aufgrund der Vorteile in ihrer klinischen Handhabung gegenüber rein chemisch- und rein lichthärtenden Materialien durchgesetzt [Besek et al., 1995; Ernst et al., 1998; Janda et al., 2003; Ozyesil et al. 2004; Jung et al., 2006]. Dieser Materialtyp wurde entwickelt, in dem Bestreben, die positiven Eigenschaften der chemischen Zemente mit denen der lichthärtenden Komposite zu kombinieren [Peutzfeldt et al., 1995; Ozyesil et al., 2004]. Der Einsatz ist in für das Licht wenig zugänglichen Kavitätenbereichen zu suchen, da hier nicht gewährleistet ist, dass bei Belichtung durch stark schichtabsorbierende Inlays hindurch ausreichend Lichtenergie zur Polymerisation gelangt [Lutz et al., 1992; Peutzfeldt et al., 1995; Ernst et al., 1998].

Diese Materialien sind meist vom Hybrid-Typ und basieren auf BisGMA / TEGDMA [Jung et al., 2001; Ozyesil et al., 2004]. Die Licht-Polymerisation aktiviert initial den im Komposit enthaltenen Fotoinitiator Campherchinon, während parallel dazu und anschließend eine chemische Nachhärtung über eine Benzoylperoxid-Amin Verbindung stattfindet [Schmalz et al., 1994; Jung et al., 2001 und 2006; Kamada et al., 2001]. Durch reine Lichthärtung wird hierbei eine Konversionsrate von 67-81 % und durch rein chemische Härtung eine Rate von 59-75 % erreicht. Laufen die Härtungsmechanismen konsekutiv ab, bestimmt die initiale primäre Lichthärtung die maximal erreichbare Konversionsrate, bzw. die Endhärte. Die chemische sekundäre Härtung erzielt keine vollständige Durchhärtung des Materials mehr, sondern ergänzt die initiale Härtung [Hasegawa et al., 1991; Lutz et al., 1992; Ernst et al., 1998; Jung et al., 2001].

Bei unzureichender Bestrahlungszeit ist ein vollständiges Aushärten somit nicht gewährleistet, da bei ungenügender Lichtzufuhr auch die Initiation der chemisch induzierten Polymerisation unzureichend ist [Hasegawa et al., 1991; Besek et al., 1995]. Des Weiteren wird an dualhärtende Befestigungszemente ein hoher Anspruch in auf das Handling, die mechanische Festigkeit, Transluzenz und Ästhetik gestellt.

2.4. Polymerisationsverfahren

2.4.1. Polymerisationslicht von Halogenlampen

Die als Lichtquelle verwendete Halogen-Lampe (QTH = Quartz Tungsten Halogen) besteht aus einer Wolfram-Halogen-Lampe. Ein Wolframdraht, der sich in einem mit Halogen-Gas gefüllten Quarzglaskörper befindet, wird zum Glühen gebracht [Ernst, 2002]. Durch einen Blaufilter wird das durch die Wolfram-Glühwendel emittierte weiße Licht auf einen Wellenlängenbereich von 380-520 nm eingegrenzt. Bei einer elektrischen Leistung von 75 Watt wird so eine ausreichende Lichtmenge zur Aktivierung des Photoinitiators generiert [Thormann et al., 1999; Ernst, 2002]. Allerdings können nur ca. 2 % der elektrischen Leistung als Nutzlicht verwendet werden, da ca. 98 % als Hitze verpuffen. Um diese unerwünschte Wärme abzuleiten, ist eine Kühlung bei Halogenlampen essentiell [Lutz et al., 1992]. Ohne ausreichende Kühlung kommt es unweigerlich zu einer Temperaturerhöhung im Füllungsmaterial, zu einer möglichen irreversiblen Hitzeschädigung der Pulpa ($>42,5^{\circ}\text{C}$), aber auch zu einem vorzeitigen Verschleiß der Lampe selber [Lutz et al., 1992; Ernst et al., 1996; Ernst et al., 2002; Uhl et al., 2003; Jung et al., 2006]. Leistungsminderungen der Halogenlampen treten unter anderem durch Kolbentrübung, Kolbenschwärzung, Reflektortrübung, Filtertrübung und Überhitzung auf [Lutz et al., 1992; Ernst et al., 1996; Mills et al., 2002]. Hinsichtlich der Leistungsfähigkeit sollte die Lampe regelmäßig überprüft werden, um Leistungseinbußen zu erkennen und beheben zu können [Lutz et al., 1992; Peutzfeldt et al., 1994].

Konventionelle Halogenlampen sollten eine Strahlenflussdichte von 600-800 mW/cm^2 erreichen, um eine sichere Polymerisation und eine konstante Qualität zu gewährleisten [Munksgaard et al., 2000; Jung et al., 2001 und 2006]. Beträgt die Strahlenflussdichte mehr als 1000 mW/cm^2 , spricht man von hochleistungs- oder hochenergetischen Halogenlicht-Polymerisationlampen [Rasetto et al., 2001; Ernst et al., 2002; Jung et al., 2006].

Die maximale Durchhärtungstiefe von Halogenlampen, in Abhängig von Farbe, Opazität und Füllkörperanteil des verwendeten Kompositmaterials beträgt im Allgemeinen 2-3 mm [Ernst et al., 1996]. Ebenso ist der Abstand des Lichtleiters

zum polymerisierenden Komposit für die Konversionsrate entscheidend [*Ernst et al., 2000; Meyer et al., 2002*]. Die Konversionsrate (der Prozentsatz aller Doppelbindungen in einem Komposit, die bei der Polymerisation umgesetzt werden) beträgt an der lichtnahen Oberfläche 80 % und nimmt mit zunehmender Tiefe ab [*Lutz et al., 1992*]. Um eine vollständige Polymerisation zu gewährleisten, wird in der Literatur eine Standardbestrahlungszeit mit 40 s pro Inkrement, welches eine Dicke von 2-3 mm nicht überschreiten sollte, angegeben [*Baharav et al., 1988; Lutz et al., 1992; Rueggeberg et al., 1994; Ernst et al., 2000; Munksgaard et al., 2000; Jung et al., 2001; Rasetto et al., 2001*].

2.4.2. Polymerisationslicht von Plasmalampen

Plasmalampen (PAC = Plasma Arc Curing), die Anfang der 80er-Jahre entwickelt worden sind, arbeiten ebenso wie die Halogenlampen mit blauem Licht. Hier kommt es durch eine hohe angelegte Spannung bei entsprechender Stromstärke zur Entstehung eines Lichtbogens zwischen den im Edelgas Xenon liegenden Elektroden [*Ernst, 2002*]. Das emittierte Licht wird durch einen Blaufilter auf einen engeren Wellenlängenbereich von 440-500 nm begrenzt und ist somit genauer auf den Photoinitiator Campherchinon abgestimmt [*Ernst, 2002*]. Komposite, die alternative Initiatoren mit Absorptionsspektren in kürzeren Wellenlängen haben, fallen somit nicht in den Einsatzbereich der Plasmalampen.

Auf Grund der hohen Lichtintensität bis zu 2000 mW/cm² soll eine Verkürzung der Polymerisationszeit auf 2-3 s möglich sein. Jedoch liegen zahlreiche Studien vor, die belegen, dass die Polymerisationsqualität mit einer Halogenlampe mit 40 s der einer Plasmalampe mit 3 s weit überlegen ist [*Munksgaard et al., 2000; Danesh et al., 2001; Jung et al., 2001; Ernst, 2002, Tanioli et al., 2002*]. Schon bei einer Kompositprobe von 2 mm Dicke ist die Konversionsrate im Vergleich zum Halogenlicht um die Hälfte verringert [*Latta et al., 2000*]. Ebenso ist die relative Oberflächenhärte signifikant reduziert [*Ergle et al., 2000; Roberts et al., 2000; Tanioli et al., 2001, Wang et al., 2001*]. Studien ergaben einen bis zu zwei Mal so hohen Restmonomergehalt

[*Munksgaard et al., 2000; Roberts et al., 2000*]. Restdoppelbindungen wurden sogar in 4-7facher Menge ermittelt [*Munksgaard et al., 2000; Peutzfeldt et al., 2000*]. Daher empfehlen Burtscher et al. [*Burtscher et al., 2000*] mindestens drei Polymerisationszyklen mit je 3 s für eine ausreichende Polymerisation durch Plasmalampen. Andere Autoren empfehlen ebenso mindestens drei Polymerisationszyklen à 3 s, um eine ausreichende Polymerisation zu gewährleisten [*Burtscher et al. 2000; Hofmann et al., 2000; Stoll et al., 2000; Rasetto et al., 2001; Ernst et al., 2002*].

In einigen anderen Studien konnte ein vermehrtes Abreißen des Komposites von der Zahnhartsubstanz bei Plasmapolymersation geringer Dauer beobachtet werden, welches auf den hohen initialen Spannungsaufbau innerhalb des Komposites (besonders bei fließfähigen Kompositen) zurückzuführen ist und den adhäsiven Verbund erschwert [*Peutzfeldt et al., 2000; Bouschlicher et al., 2001; Ducksworth et al., 2001*]. Ein weiteres Problem stellt das starke Abbrennen der Elektroden dar, welches innerhalb von 2 Jahren die Leistung der Plasmalampe signifikant reduziert [*Ernst, 2002*].

2.4.3. Polymerisationslicht von LED-Lampen

Ein seit 2001 eingeführtes Polymerisationsverfahren arbeitet mit blauen Leuchtdioden (LED = Light Emitting Diode). Im Gegensatz zu Halogenlampen, bei denen der Wellenlängenbereich des emittierten Lichtes durch Filter selektiert wird, ist bei den LED-Lampen auf Grund der chemischen Zusammensetzung eines Halbleiters der spektrale Bereich vorgegeben. Die Basis der LEDs bilden Halbleiterverbindungen, die Strom direkt in Licht umwandeln können. Der Halbleiter ist ein Festkörper, der bei reinem Zustand bei niedrigen Temperaturen isolierend wirkt und bei höheren Temperaturen eine Leitfähigkeit aufweist [*Ernst, 2002*]. Um eine spezifische Eigenschaft dieses Halbleiters zu generieren und somit die Leitfähigkeit gezielt einzustellen, wird das reine Halbleitermaterial mit kleinsten Mengen von Fremdatomen dotiert (vermischt), was eine Veränderung des Widerstandes und somit das Freisetzen von Licht zur Folge hat [*Ernst, 2002*]. Die Wellenlänge des emittierten Lichtes ist somit abhängig von der Halbleitersubstanz und dem Stoff des Donators. Der

in der Zahnmedizin am häufigsten angewendete Festkörper ist ein Silizium-Halbleiterkristall, der mit Galliumnitrid (GaN) dotiert wird [Ernst, 2002; Mills et al., 2002; Bala et al., 2005]. LED-Lampen stellen eine realistische Alternative zur Halogen-Lampe dar. Da ausschließlich Licht im blauen Bereich emittiert wird, entsteht so ein Wellenlängenspektrum im Bereich von 450-490 nm welches den Photoinitiator Campherchinon optimal aktiviert, obwohl die Lichtintensität niedriger ist als bei Halogenlampen [Meniga et al., 1998, Burtscher et al., 2002; Ernst et al., 2002; Mills et al., 2002; Tsai et al., 2004; Jung et al., 2006]. Kompositmaterialien, die ein anderes Fotoinitiatorsystem mit einem Absorptionsspektrum außerhalb von 410-500 nm enthalten, sind zur Polymerisation mit LED-Lampen jedoch nicht geeignet.

Aufgrund des hohen Wirkungsgrades der LEDs wird nur sehr wenig Wärme-Energie abgeleitet und es kann auf eine Lüftung verzichtet werden [Mills et al., 1999]. Eine in das Gehäuse des Handgerätes integrierte Kühlmasse aus wärmeleitendem Aluminium gewährleistet die Abführung der entstandenen Rest-Wärme auch bei Dauerbetrieb, wodurch sich die Lebensdauer der LED erhöht [ESPE, 2003]. Die geringe Temperaturentwicklung während des Polymerisationsvorganges verringert zudem die Gefahr einer unphysiologischen Erwärmung der Pulpa [Knezevic et al., 2001; Hofmann et al., 2002; Uhl et al., 2003].

In einigen Untersuchungen konnte kein signifikanter Unterschied bei der Polymerisation mit Halogen und LED-Lampen in Bezug auf die Polymerisationstiefe ermittelt werden [Jandt et al., 2000; Ernst et al., 2001, Knezevic et al., 2001; Burtscher et al., 2002; Tanioli et al., 2002].

Einige LED-Polymerisationsgeräte generieren Licht über eine einzelne Hochleistungs-LED (Elipar FreeLight 2[®], 3M ESPE, Seefeld) und stellen somit die LED-Technologie der zweiten Generation dar. Im Gegensatz zu herkömmlichen LEDs wird ein größerer Halbleiter-Kristall verwendet, wodurch sich nicht nur die beleuchtete Fläche, sondern auch die Lichtintensität vergrößert und es so zu einer Halbierung der Belichtungszeit kommen soll [Jung et al., 2006].

2.5. Keramik

Die Anwendung biokompatibler Keramik als Alternative zu Amalgam, Komposit oder Gold ist aufgrund der hohen Ähnlichkeit zum Schmelz schon seit über 200 Jahren ein anerkanntes Standardverfahren zum Ersatz von verloren gegangener Zahnhartsubstanz in der Zahnheilkunde [Schmalz et al., 1994; Hofmann et al., 2001; Peutzfeldt, 2001; Rasetto et al., 2001]. Besonders auch, da Füllungskomposite ab einer bestimmten Restauraionsgröße nicht mehr indiziert sind [Jung et al., 2001]. Neben einer perfekten Ästhetik aufgrund der hohen Transluzenz ist die leichte Verarbeitbarkeit im zahntechnischen Labor und die hinreichende Röntgenopazität, die adhäsive Zementierbarkeit, sowie eine schmelzähnliche Härte, Abriebfestigkeit und Belastbarkeit, der thermische Ausdehnungskoeffizient, das hohe Elastizitätsmodul und eine zahnähnliche thermische Leitfähigkeit von immenser Bedeutung [Marx, 1993; Rasetto et al., 2001; Janda et al., 2003; Komine et al., 2004].

Keramische Werkstoffe bestehen aus nichtmetallischen, anorganischen Substanzen (Feldspat (60-80 %), Quarz (15-25 %) und Kaolin (0-5 %) und bilden entweder durch Sintern (Sinterkeramik) bei Temperaturen von 1200-1250°C, durch Vergießen im Lost-Wax-Verfahren mit anschließendem Tempern oder durch Verpressen (Glaskeramik) im Lost-Wax-Verfahren eine Glas-Matrix, in die eine Kristallphase eingelagert ist. Grundsätzlich unterscheidet man zwischen den Silikatkeramiken und den Oxidkeramiken. Die Anzahl der in der Glas-Matrix enthaltenen Kristalle kann bei den Silikatkeramiken durch Beimischen von Leuzit oder Glimmer (Salze der Kieselsäure), bei den Oxidkeramiken durch Aluminium, Silicium, Zirkon oder Spinell erhöht werden, um so eine Verstärkung des Gefüges zu erzielen oder die Lichtstreuung, die Opazität, die Farbe und die Wärmeausdehnung zu beeinflussen. Hervorstechend ist die Masse von aluminiumoxidverstärkten (Al_2O_3) Glaskeramiken. Sie besteht neben der Matrix bis zu etwa 50 % aus ca. 30 μm großen Al_2O_3 -Kristallen (Korund), die bereits als gesintertes Reinaluminiumoxid im Pulver vorliegen [Marx, 1993]. Durch die Größe der Kristalle kommt es zu einer Festigkeitssteigerung in der Keramik, dem ein Verlust an Transparenz gegenübersteht [Peutzfeldt, 2001]. Keramiken sind typischerweise spröde, hochschmelzend und weisen eine hohe mechanische Festigkeit aufgrund der

starken kovalenten Bindungen der Kristalle untereinander auf und verformen sich somit nicht unter Belastungen [Marx, 1993; Schmalz et al., 1994; Benz, 2000, Peutzfeldt, 2001; Rasetto et al., 2001]. Durch Zugbelastungen kann es jedoch, bedingt durch herstellungsabhängige oberflächliche Fehlstellen im Keramikgefüge leicht zur Bildung und Fortsetzung von Rissen und letztlich zum Bruch der Keramik kommen. Eine Erhöhung der Bruchzähigkeit setzt somit eine Veränderung in der Zusammensetzung des Gefüges voraus. Diese Modifikation der Keramiken durch Zugabe von Leuzit oder Aluminiumoxid wird durch Misfitsspannungen erreicht, die eine Ablenkung der sich bildenden Risse bewirken und so einer Fraktur der Restauration entgegenwirken [Marx, 1993; Schmalz et al., 1994; Peutzfeldt, 2001]. Die abschließende Glasur eines keramischen Werkstückes zur Erzeugung einer glatten Oberfläche ist nicht nur für die mechanischen Eigenschaften (z. B. die Zerreißfestigkeit), sondern auch für die spätere Vermeidung von Plaqueanlagerung im Mund von Bedeutung [Marxkors/Meiners, 1993].

Um bei der Adhäsivtechnik eine Verbundfestigkeit zwischen Keramik, Befestigungsmaterial und Zahn zu erzielen, wird eine Konditionierung der Keramikoberfläche mit mineralischen Säuren (5-10 %ige Flusssäure) zur Herstellung von Mikroretentionen durch Herauslösen der nicht-kristallinen Phase und anschließendes Aufbringen von Haftsilanen empfohlen, um einen chemischen Verbund zwischen Keramik und licht- oder dualhärtenem Befestigungskomposit durch Methacrylatgruppen zu erreichen [Schmalz et al., 1994]. Ernst et al. [Ernst et al., 1998] zeigten bereits 1998 in einer Studie, dass die gemessenen Oberflächenhärten der Befestigungskomposite unter den verwendeten Prüfrestitutionen mit zunehmender Schichtstärke ab einer Dicke ≥ 3 mm signifikant abnahm. Cardash et al [Cardash et al., 1993] forderten ab einer Keramischichtstärke von bereits 2 mm dualhärtende Befestigungskomposite zu verwenden.

Alle Keramiken absorbieren Licht in einem Wellenlängenbereich von 400-500 nm, dunkle Farben mehr als helle. Auch mit zunehmender Schichtstärke wird mehr Licht absorbiert, es lässt sich jedoch weder eine lineare noch eine logarithmische Abhängigkeit feststellen. Entgegengesetzt dazu besteht zwischen der Härte des Befestigungsmaterials und der Keramischichtstärke eine lineare Abhängigkeit bezüglich der Lichtabsorption [Hickel et al., 1992].

2.6. Härtemessverfahren

2.6.1. Härtemessverfahren zur Polymerisationsbeurteilung

Die Härte ist definiert als Widerstand, den die Oberfläche eines festen Werkstoffes dem Eindringen eines Prüfkörpers entgegensetzt [Strickling, 1988; Marxkors/Meiners, 1993]. Die Messung von Härteprofilen mittels unterschiedlicher Verfahren gilt als sehr zuverlässig, um indirekt die Konversionsrate eines Komposits zu bestimmen [Jung et al., 2006]. Grundsätzlich werden die Eindruckhärteprüfungen (Brinell, Vickers, Knoop, Rockwell, Barcoll) von den Ritzhärteprüfungen (Mohs) unterschieden. Bei Ritzhärteprüfungen wird die Härte eines Werkstoffes durch die Breite einer Ritzspur angegeben, welche durch eine belastete Diamantspitze oder eine Metallnadel resultiert [Strickling, 1988; Benz et al., 2000]. Sie findet hauptsächlich in der Mineralogie Anwendung und ist für Metalle nicht gebräuchlich. Die Eindruckhärteprüfungen werden in statische und dynamische Prüfverfahren, zur Härtemessung von Dentallegierungen, Zahnhartsubstanzen und keramischen Massen unterteilt. Bei den statischen Verfahren wird das Ausmaß einer Impression einer stoßfrei aufgebrachten Prüfsonde (Stahl oder Diamant) bestimmt, wohingegen bei den dynamischen Verfahren Energieverluste bestimmt werden, die während des Prüfvorganges auftreten [Strickling, 1988; Marxkors/Meiners, 1993]. Die jeweilige Prüfkraft richtet sich nach der Werkstoffdichte, nach der Funktion der zu prüfenden Fläche und deren Härte. Mit Hilfe des Härtewertes lassen sich Schlüsse auf den Gefügestand bzw. auf die mechanischen Eigenschaften des Werkstückes ziehen. Die ermittelten Härteangaben sind nach Einführung des SI-Einheitensystems dimensionslos [Marxkors/Meiners, 1993].

2.6.2. Härtemessverfahren nach Vickers

Zur Bestimmung der Vickershärte (HV) wird ein Eindruck in das zu prüfende Material durch eine Diamant-Pyramide von quadratischer Grundfläche erzeugt. Der Öffnungswinkel zwischen den einander gegenüberliegenden Pyramidenflächen beträgt 136° . Die Prüfkraft wird innerhalb von 10 s stoßfrei angebracht und für 10-30 s belassen, anschließend werden die Eindrucksdiagonalen d (mm) mikroskopisch ausgemessen. Der errechnete Quotient aus der Prüfkraft und der Oberfläche des bleibenden Eindrucks bezeichnet die Vickershärte [Strickling, 1988; Wassell et al, 1992; Marxkors/Meiners, 1993]. Den Prüfdiamanten nach Vickers und den daraus resultierenden Eindruck in dem Prüfkörper zeigt schematisch Abb. 2.

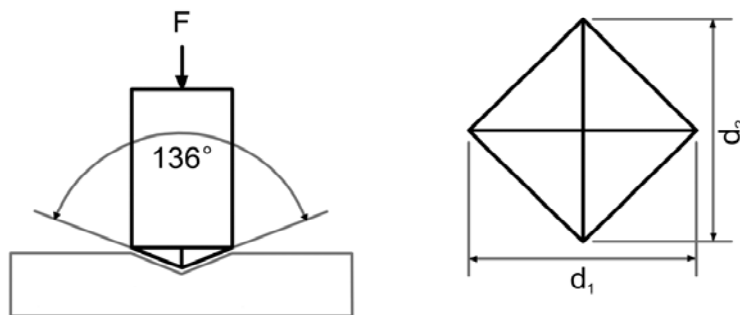


Abb. 2: Prüfdiamant nach Vickers und resultierender Eindruck

Quelle der Abb. 2: [DIN Taschenbuch, 1997]

Das Härtemessverfahren bietet eine große Verwendbarkeit für sowohl harte als auch weiche Materialien aber auch für sehr dünne Materialschichten. Es findet in der Prüfung der Oberflächenhärte von Kompositen [Hickel et al., 1992; Ernst et al., 1998; Ernst et al., 2000; Burtscher et al., 2002], Kompomeren [Ernst et al., 1998], dualhärtenden Befestigungskompositen [Besek et al., 1995; Jung et al., 2006] und Metallen [Marxkors/Meiners, 1993] Anwendung.

Das Härtemessverfahren nach Vickers ist genormt nach EN ISO 6507-1 und TGL 9556 [DIN Taschenbuch, 1997].

2.6.3. Härtemessverfahren nach Knoop

Dem Vickershärteverfahren ähnlich ist das Härtemessverfahren nach Knoop (KHN). Anwendung findet es vor allem in der Mikrohärteprüfung. Hier wird ein Eindruck in das zu prüfende Material durch einen Diamanten von rhombischer Grundfläche erzeugt und ebenfalls optisch ausgemessen. Der Quotient aus der Prüfkraft und der Diagonalen bildet sodann die Knoophärte. Imponierend ist hierbei die sehr geringe Prüfkraft von $<10\text{N}$, die auf dem zu prüfenden Material für 10-30 s lastet. Die Winkel der paarweise einander gegenüberliegenden Kanten betragen 172° , 30° und 120° [Strickling, 1988; Chung, 1989].

Den Prüfdiamanten nach Knoop und den daraus resultierenden Eindruck in dem Prüfkörper zeigt schematisch Abb. 3.

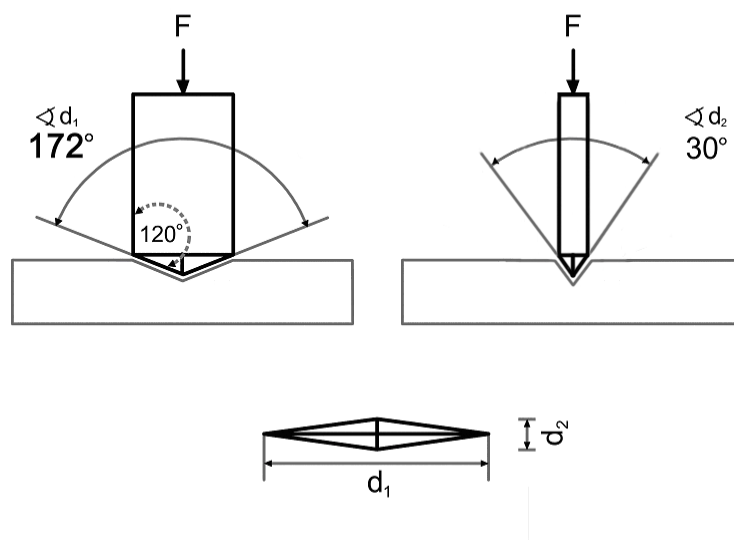


Abb. 3: Prüfdiamant nach Knoop und resultierender Eindruck

Quelle der Abb. 3: [DIN Taschenbuch, 1997]

Der resultierende Eindruck ist sehr flach, somit eignet sich dieses Härtemessverfahren exzellent für spröde Materialien, wie zum Beispiel Keramik, jedoch aufgrund stark streuender Messergebnisse nicht für Kompositmaterialien [Strickling, 1988; Schmalz et al., 1994].

Das Härtemessverfahren nach Knoop ist nach EN ISO 4516 und ASTM D 1474 genormt [DIN Taschenbuch, 1997].

2.6.4. Härtemessverfahren nach Barcol

Das Barcol-Härtemessverfahren (BH) ist ein statisches Prüfverfahren zur Testung von Aluminium, Messing, Kupfer, Komposit, Gummi und Leder. Hier wird durch einen Kegelstumpf aus Stahl mit einem Winkel von 26° und einem stirnseitigen Durchmesser von $170\ \mu\text{m}$ ein Eindruck im zu prüfenden Material durch eine konstante Last von ca. 10 kg hinterlassen. Die Tiefe des Eindrucks kann sehr einfach und dimensionslos direkt am geeichten Ziffernblatt des Handgerätes abgelesen werden [Wassell et al., 1992]. Durch das einfache Handling ist eine gute Reproduzierbarkeit gewährleistet. Eine Untersuchung von Murdock et al. [Murdock et al., 2001] zeigte, dass von der ermittelten Barcol-Härte ein guter Rückschluss auf die Konversionsrate des Komposits möglich ist. Bereits bei einer Differenz von 2,1 Barcol-Einheiten ist ein signifikanter Unterschied gegeben, weshalb dieses Härtemessverfahren eine ideale Technik zum Vergleich von Kompositen darstellt [Chung, 1989; Mills et al., 2002].

Den Prüfkegel nach Barcol und den daraus resultierenden Eindruck in dem Prüfkörper zeigt schematisch Abb. 4.

Den Barcol-Härtemesser zeigt Abb. 5.

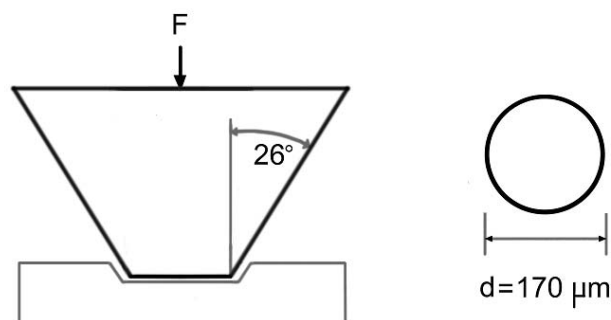


Abb. 4: Prüfkegel nach Barcol und resultierender Eindruck

Quelle der Abb. 4: [DIN Taschenbuch, 1997]



Abb. 5: Barcol Härtemesser

Da ein deutliches Signifikanzniveau schon bei geringen Unterschieden der Messwerte erreicht wird, lassen sich die Messdaten statistisch sehr gut weiterverwenden.

Das Barcol-Härtemessverfahren ist genormt nach DIN EN 59 und ASTM D 2583 [*DIN Taschenbuch, 1997*].

3. Zielsetzung der vorliegenden Arbeit

Ziel der Studie ist es herauszuarbeiten, inwieweit die Polymerisation von Befestigungskompositen einerseits von der Schichtstärke der Keramik, die das Polymerisationslicht durchdringen muss, und andererseits vom Licht der verwendeten Polymerisationslampe abhängt. Als Maßstab für den Grad der Aushärtung des Komposits soll die Oberflächenhärte nach Barcol an der lichtzu- und der lichtabgewandten Seite des Prüfkörpers gemessen werden. Es sollen verschiedene adhäsive Befestigungsmaterialien durch unterschiedlich dicke Keramikscheiben mit verschiedenen Polymerisationslampen in-vitro lichtgehärtet werden. Geprüft werden sollen:

- **Befestigungskomposite** (Farbe A3)
 1. **RelyX Unicem[®]** der Firma 3M ESPE; D-82229 Seefeld
(selbst-adhäsives dualhärtendes universelles Komposit)
 2. **Ambarino Flow[®]** der Firma creamed; 35041 Marburg
(lichthärtendes Nanohybrid)
 3. **Duo Cement[®] plus** der Firma Coltène; D-78462 Konstanz
(dualhärtendes Feinhybrid)

- **Polymerisationslampen**
 1. **Elipar TriLight[®]** der Firma 3M ESPE; D-82229 Seefeld
(Halogen-Lampe)
 2. **crealight[®]** der Firma Schütz, Dentalgroup; D-61191 Rosbach
(Plasma-Lampe)
 3. **Elipar FreeLight 2[®]** der Firma 3M ESPE; D-82229 Seefeld
(LED-Lampe)

- **Keramiksichtstärke** (Farbe A3)
 1. **Aluminiumoxid-Keramik Nuance 750[®]** der Firma Schütz, Dentalgroup;
D-61191 Rosbach in den Schichtstärken: 2 mm, 3 mm und 4 mm

Unmittelbar nach der Polymerisation und eine Woche nach trockener und dunkler Lagerung erfolgt die Messung der Komposit-Härte nach Barcol.

Folgende Hypothesen sollen mittels geeigneter statistischer Methoden evaluiert werden:

1. Die Wahl des Polymerisationsverfahrens (Halogen-, Plasma-, LED-Licht) hat einen Einfluss auf den Grad der Polymerisation – indirekt gemessen als Barcol-Härte an der Oberfläche des Komposits.
2. Die Dicke der zu durchstrahlenden Keramikschicht hat einen Einfluss auf die Oberflächenhärte des Komposits.
3. Die Wahl des Befestigungsmaterials bezüglich Polymerisationstyp (licht- oder dualhärtend) hat einen Einfluss auf die Polymerisation – indirekt gemessen als Barcol-Härte an der Oberfläche des Komposits.

4. Material und Methode

4.1. Versuchsdesign

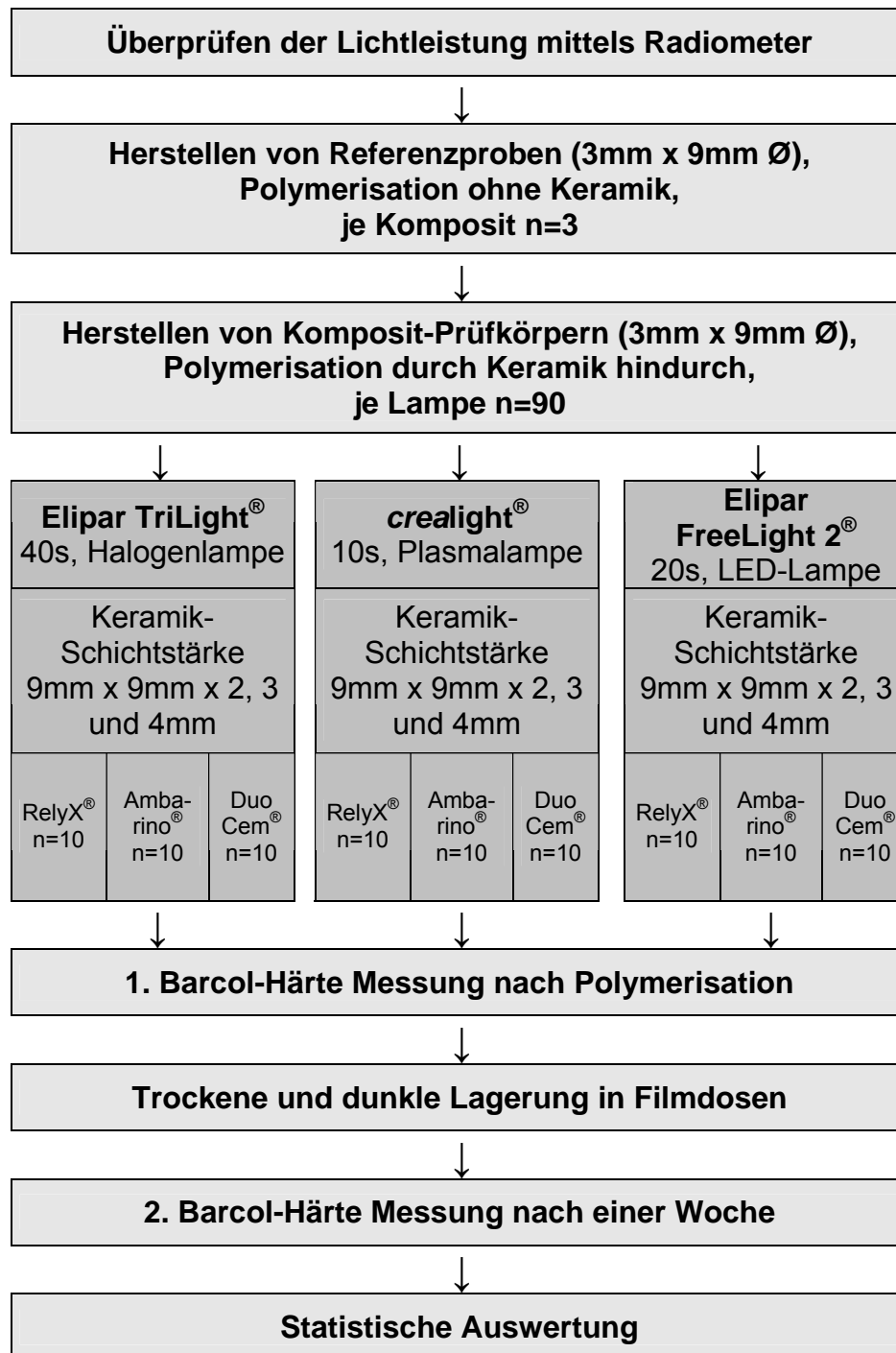


Abb. 6: Ablaufplan zur Probenherstellung und Auswertung

4.2. Versuchsaufbau

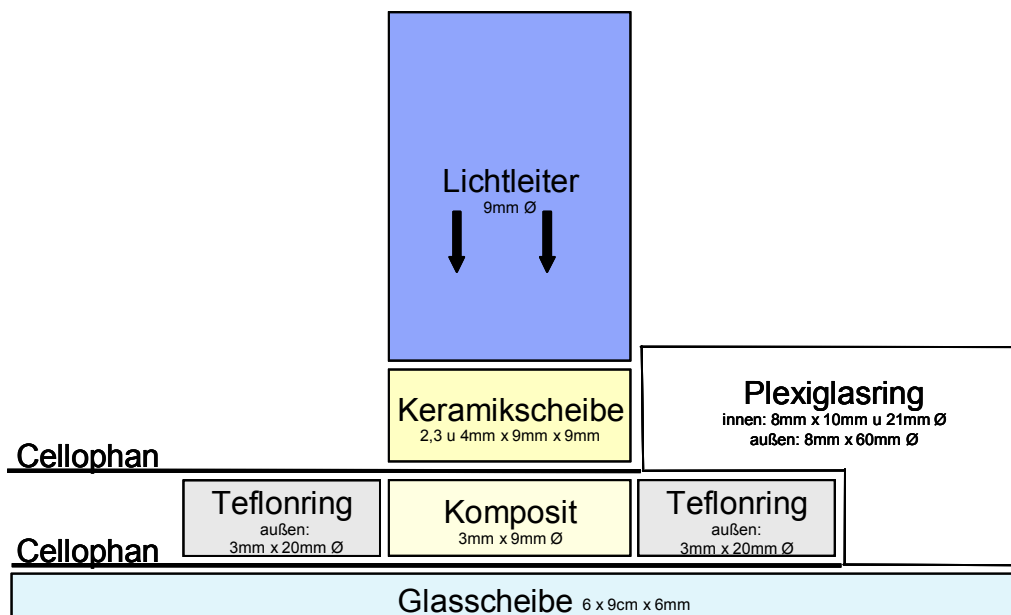


Abb. 7: Schematischer Versuchsaufbau zur Herstellung der Prüfkörper

4.3. Überprüfung der Energieleistung

Die Energieleistung der jeweiligen Polymerisationslampe wurde vor Beginn jeder Versuchsreihe (n=10) mit einem Radiometer überprüft. Hier kam das integrierte digitale Radiometer der Polymerisationslampe *crealight*[®] (Mat. #4) zum Einsatz. Das Radiometer zeigt Abb. 8.



Abb. 8: Digitales Radiometer der Polymerisationslampe *crealight*[®]

4.4. Herstellung der Prüfkörper

Als Formhilfe für die Herstellung der scheibenförmigen Komposit-Probekörper diente eine individuell hergestellte Teflonscheibe (Mat. #12) mit einer Innenbohrung mit einem Durchmesser von 9 mm und einer Dicke von 3 mm (Abb. 7), da es in Voruntersuchungen bei einer geringeren Dicken der Proben zu Frakturen während des Messvorganges kam. Um eine sichere Lage der Teflonscheibe zu gewährleisten und eine plane Fläche zu erzielen, kam diese auf einer Glasscheibe (Mat. #11) mit den Maßen 7 x 9,5 cm zu liegen. Zur Vermeidung einer Sauerstoffinhibitionsschicht, Erzielung einer glatten Oberfläche und Vermeidung eines Verbundes zwischen Komposit und Keramikprüfkörper, wurde das Kompositmaterial auf der Ober- und Unterseite nach Herstellung gemäß den jeweiligen Produktangaben und Einbringen mit einem Anrührspatel (Mat. #10) mit einem Cellophanstreifen (Mat. #9) abgedeckt. Anschließend wurde der Kompositprobe, zur Simulation einer Keramikrestauration, eine quadratische Keramikscheibe in den Dicken 2, 3 oder 4 mm mit einer Kantenlänge von 9 x 9 mm aufgelegt. Über die verschiedenen Elemente wurde ein polierter Plexiglasring (Mat. #13) gelegt, somit war ein Verschieben der einzelnen Teile gegeneinander nicht möglich. Der so hergestellte Prüfkörper wurde dann mit jeweils einem der drei verwendeten Lichtpolymerisationsgeräte ausgehärtet, wobei das Lichtaustrittsfenster nahezu direkten Kontakt mit der Keramikscheibe hatte. Als Referenz wurde pro Versuchsreihe (n=10) je eine Probe (n=1) hergestellt, die ohne Keramikscheibe mit der Dicke 2, 3 und 4 mm polymerisiert wurde (n=3). Alle 270 Probekörper (Tab. 3-5) wurden zur Konstanthaltung der Zeitspanne vom Polymerisationsende bis zum Beginn der Härtemessung an der Ober- und Unterseite (ca. 3 Minuten) einzeln polymerisiert und unmittelbar vermessen. Die Probenherstellung erfolgte in einem abgedunkelten Laborraum. Bis zu den erneuten Härtemessungen der Kompositproben nach einer Woche wurden diese zur Ermittlung der Nachhärtung trocken und dunkel in handelsüblichen Film Dosen (Mat. #15) gelagert.

Die Lichtabsorption der Restauration wurde durch die Aluminiumoxid-Keramik Nuance 750[®] (Schütz, Dentalgroup; Rosbach) (Mat. #8) in der Farbe A3 mit den Maßen 9 mm x 9 mm und mit den Schichtstärken von 2, 3 und 4 mm simuliert.

Die Oberseite der Keramik-Prüfkörper ist mit einem Glanzbrand versehen worden, die Unterseite blieb unbehandelt.

Als Befestigungsmaterialien zur Adhäsivtechnik wurden in der vorliegenden Studie das fließfähigere in lichte härtende Komposit Ambarino Flow[®] (creamed, Marburg) (Mat. #5), der dualhärtende Komposit-Zement Duo Cement plus[®] (Coltène, Konstanz) (Mat. #6) sowie der dualhärtende, selbstadhäsive Komposit-Zement RelyX Unicem[®] (3M ESPE, Seefeld) (Mat. #7), alle in der Farbe A3 verwendet (Tab. 1). Die Proben wurden entweder unter Verwendung der Halogenlampe Elipar TriLight[®] (3M ESPE, Seefeld) (Mat. #2) mit einer Belichtungsdauer von 40 s ohne Soft-start oder der Plasmalampe *crealight*[®] (Schütz, Dentalgroup; Rosbach) (Mat. #4) mit einer Belichtungsdauer von 10 s oder der LED-Lampe Elipar FreeLight 2[®] (3M ESPE, Seefeld) (Mat. #3) mit einer Belichtungsdauer von 20 s bei konstanter Lichtintensität polymerisiert.

Lampe	Hersteller	Lampentyp	Lichtintensität	Bel.-Zeit
Elipar TriLight [®]	3M ESPE	Halogen	800 mW/cm ²	40 s
<i>crealight</i> [®]	Schütz Dental	Plasma	2500 mW/cm ²	10 s
Elipar FreeLight 2 [®]	3M ESPE	LED	1000 mW/cm ²	20 s

Tab. 1: Verwendete Lampen in dieser Studie

Ambarino Flow[®] ist ein rein lichte härtendes fließfähiges Nano-Hybrid-Komposit (Einpastenmaterial) von niedriger Viskosität. Laut Herstellerangaben ist zur Polymerisation ein Lichtpolymerisationsgerät mit einem Emissionsspektrum im Bereich von 350-500 nm einzusetzen, wobei Halogen- oder Plasmalampen empfohlen werden. Es eignet sich nicht nur als Füllungsmaterial, sondern auch zur adhäsiven Befestigung von keramischen Inlays, Onlays und Veneers [creamed, 2004].

Duo Cement plus[®] (Paste/Paste-System) ist laut Gebrauchsinformation ein dünnfließendes, licht- und chemisch härtendes, röntgenopakes Zweikomponenten Fein-Hybrid-Komposit. Es eignet sich zur dauerhaften Befestigung von Komposit- oder Keramikrestorationen. Laut

Herstellerangaben ist eine Polymerisation mit einem Halogenlicht empfehlenswert, die chemische Aushärtung startet jedoch schon beim Kontakt von Base und Katalyst und soll binnen acht Minuten unter Luftausschluss abgeschlossen sein. [Coltène, 2001].

RelyX Unicem[®] (Pulver/Flüssigkeit-System) ist ein dualhärtender, selbstadhäsiver Komposit-Befestigungszement für indirekte Restaurationen aus Vollkeramik, Komposit oder Metall. Zudem gibt RelyX Unicem Fluoridionen ab. Es wird empfohlen, den Zement durch die Restauration hindurch mit einer handelsüblichen Polymerisationslampe für mindestens 20 s zu belichten. Die chemische Härtung startet beim Kontakt von Base und Katalyst (Pulver und Flüssigkeit) im Sinne einer radikalischen Polymerisationsreaktion und soll nach sechs Minuten abgeschlossen sein, auch ohne Lichtpolymerisation.

Die organische Matrix besteht aus mehrfach funktionellen phosphorsauren (Dimeth-) Acrylaten, wodurch nicht nur ein hoher Vernetzungsgrad, sondern auch die Konditionierung der Zahnhartsubstanz und die Selbsthaftung gewährleistet werden. [3M Espe, 2003].

Komposit	Farbe	Komposittyp	Fülleranteil	Korngröße	Viskosität	Härtetyp
RelyX Unicem [®] (3M ESPE)	A3	selbst-adhäsives universelles Komposit	72 Gew.%	7,5 µm	mittel	dual-härtend
Ambarino Flow [®] (creamed)	A3	Nanohybrid	55 Gew.%	0,7 µm	niedrig	licht-härtend
Duo Cement Plus [®] (Coltène)	A3	Feinhybrid	71 Gew.%	0,5 µm	mittel	dual-härtend

Tab. 2: Verwendete Befestigungsmaterialien in dieser Studie

4.5. Versuchsgruppen

Halogenlampe - Elipar TriLight®				
Gruppe	Keramikdicke	Komposit	Zeit	n
1	2 mm	RelyX Unicem®	40 s	10
2	3 mm			10
3	4 mm			10
4	2 mm	Ambarino Flow®	40 s	10
5	3 mm			10
6	4 mm			10
7	2 mm	Duo Cement®	40 s	10
8	3 mm			10
9	4 mm			10

Tab. 3: Verteilung der Versuchsgruppen unter Verwendung der Halogenlampe

Plasmalampe - crealight®				
Gruppe	Keramikdicke	Komposit	Zeit	n
10	2 mm	RelyX Unicem®	10 s	10
11	3 mm			10
12	4 mm			10
13	2 mm	Ambarino Flow®	10 s	10
14	3 mm			10
15	4 mm			10
16	2 mm	Duo Cement®	10 s	10
17	3 mm			10
18	4 mm			10

Tab. 4: Verteilung der Versuchsgruppen unter Verwendung der Plasmalampe

LED-Lampe - Elipar FreeLight 2®				
Gruppe	Keramikdicke	Komposit	Zeit	n
19	2 mm	RelyX Unicem®	20 s	10
20	3 mm			10
21	4 mm			10
22	2 mm	Ambarino Flow®	20 s	10
23	3 mm			10
24	4 mm			10
25	2 mm	Duo Cement®	20 s	10
26	3 mm			10
27	4 mm			10

Tab. 5: Verteilung der Versuchsgruppen unter Verwendung der LED-Lampe

4.6. Messungen und Lagerung der Prüfkörper

Nach Entformung der Kompositprüfkörper fand zunächst die Beschriftung der zu untersuchenden Ober- und Unterseite mit einem wasserfesten Stift (Mat. #16) statt. Zur Bestimmung der Oberflächenhärte wurde die Messung der Härte nach Barcol angewandt. Die Härtemessungen wurden mit der mobilen Handprüfvorrichtung Barcol Impressor GYZJ 934-1[®] (Mat. #1) durchgeführt (Abb. 5), welches laut Herstellerangaben zur Prüfung der Oberflächenhärte von weichen Metallen wie Aluminium, Messing, Kupfer, Fieberglas, Komposit, Gummi und Leder geeignet ist. Die Dauer des Impressionsvorganges betrug 2 s je Probenseite. Die ermittelte Härte konnte am Ziffernblatt des Gerätes auf einer Skala von 0-100 zeitgleich abgelesen werden. Direkt im Anschluss an die Polymerisation und eine Woche nach trockener und dunkler Lagerung der Prüfkörper in Filmdosen (Mat. #15) erfolgte die zweite Messung der Härte nach Barcol. Jeweils zentral an der Oberseite, also der dem Polymerisationslicht zugewandten Seite und an der lichtabgewandten Unterseite der Kompositprobe wurde gemessen. Zum Halt der Probe während der Messung diente eine speziell angefertigte Kunststoffplatte/Messvorrichtung (Mat. #17) mit einer Bohrung von 9,1 mm Ø und 3,1 mm Tiefe, in die die Komposit-Prüfkörper zur Messung eingelegt wurden, um eine exakt reproduzierbare Messung zu gewährleisten.

4.7. Deskriptive Statistik

Zur Auswertung der erhobenen Daten wurden diese in das Statistikprogramm SPSS 12.01 [Statistical Package for the Social Science] (Mat. #14) eingegeben. Hiermit ist es sowohl möglich eine deskriptive Statistik zu realisieren, als auch analytisch zu untersuchen, ob Mittelwert- oder Medianwertunterschiede zwischen Gruppen zufällig auftreten [Bühl/Zöfel, 2002]. Von entscheidender Bedeutung für den Statistik-Algorithmus ist, ob die ermittelten Werte eine Normalverteilung zeigen oder nicht. Danach richtet sich, welche statistischen Kennwerte (Mittelwerte und Standardabweichung oder Medianwerte und Quartile) zur Beschreibung der Verteilung verwendet werden können [Bühl/Zöfel, 2002]. Liegt eine Normalverteilung vor, wird der parametrische T-Test nach Student zum Vergleich von zwei unabhängigen Stichproben angewendet. Liegt keine Normalverteilung vor, erfolgt die weitere Auswertung mit dem nichtparametrischen U-Test nach Mann und Whitney [Bühl/Zöfel, 2002], mit welchem die Daten dieser Studie untersucht worden sind. Diese Verteilung kann entweder optisch unter zur Hilfenahme eines Histogramms oder auch anhand von Kennwerten überprüft werden. Als Beispiel ist hier der Kolmogorov-Smirnov Test zu nennen, der die Irrtumswahrscheinlichkeit für eine Gaußsche Verteilung angibt. Bei Auswertung von nominal, bzw. ordinal skalierten Werten findet der Chi-Quadrat-Test Anwendung.

In der vorliegenden Studie wurden zum Vergleich der Barcol-Härten die Medianwerte und Quartile berechnet und in einem Whisker-Plot-Diagramm als Stichprobenwerte dargestellt. Aussagen, welche mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit (p) von $\leq 0,05$ einhergehen, werden als signifikant bezeichnet.

5. Ergebnisse

5.1. Ergebnisse der Energieleistung mittels Radiometer

Die Konstanzprüfungen der Energieleistung der jeweiligen Polymerisationslampe wurde vor Beginn jeder Versuchsreihe (n=10) mit einem Radiometer überprüft, um einen eventuellen Leistungsabfall zu erkennen. Es wurde der Strahlungsfluss - definiert als die Leistung der Strahlung, die vom Lichtleiteraustrittsfenster abgestrahlt wird - gemessen. [Thormann et al., 1999]. Hier kam das integrierte Radiometer der Polymerisationslampe *crealight*[®] (Mat. # 4) zum Einsatz, da es im Vergleich zu den beiden anderen Lampen über eine digitale Anzeige verfügt. Für die Halogenlampe Elipar TriLight[®] ergaben sich konstante Werte der Leistungsdichte von 800 mW/cm². Für die Plasmalampe *crealight*[®] konnten Werte der Leistungsdichte zwischen 2180 und 2260 mW/cm² und für die LED-Lampe Elipar FreeLight 2[®] Werte zwischen 700 und 800 mW/cm² gemessen werden.

5.2. Oberflächenhärte der Referenzproben

5.2.1. Oberflächenhärte der Referenzproben nach Polymerisation mit der Halogenlampe Elipar TriLight®

Halogenlampe - Elipar TriLight® - 40 s Polymerisationsdauer					
n=1 pro Gruppe entspr. n=3 pro Komposit	direkt nach Polymerisation		1 Woche nach Polymerisation		
	Komposit	Oberseite	Unterseite	Oberseite	Unterseite
	RelyX Unicem®	73	73	77	74
	Ambarino Flow®	64	55	66	58
	Duo Cement®	67	66	72	71

Tab. 6: Mittelwerte der Referenzproben, nach Polymerisation ohne Keramik

5.2.2. Oberflächenhärte der Referenzproben nach Polymerisation mit der Plasmalampe crealight®

Plasmalampe - crealight® - 10 s Polymerisationsdauer					
n=1 pro Gruppe entspr. n=3 pro Komposit	direkt nach Polymerisation		1 Woche nach Polymerisation		
	Komposit	Oberseite	Unterseite	Oberseite	Unterseite
	RelyX Unicem®	64	35	71	57
	Ambarino Flow®	65	53	63	57
	Duo Cement®	70	67	71	71

Tab. 7: Mittelwerte der Referenzproben, nach Polymerisation ohne Keramik

5.2.3. Oberflächenhärte der Referenzproben nach Polymerisation mit der LED-Lampe Elipar FreeLight 2®

LED-Lampe - Elipar FreeLight 2® - 20 s Polymerisationsdauer					
n=1 pro Gruppe entspr. n=3 pro Komposit	direkt nach Polymerisation		1 Woche nach Polymerisation		
	Komposit	Oberseite	Unterseite	Oberseite	Unterseite
	RelyX Unicem®	69	40	73	62
	Ambarino Flow®	65	55	64	54
	Duo Cement®	70	66	70	69

Tab. 8: Mittelwerte der Referenzproben, nach Polymerisation ohne Keramik

5.3. Oberflächenhärte der Komposit-Prüfkörper

5.3.1. Oberflächenhärte der Komposite nach Polymerisation mit der Halogenlampe Elipar TriLight®

Halogenlampe - Elipar TriLight® - 40 s Polymerisationsdauer					
n=10 je Gruppe		direkt nach Polymerisation		eine Woche nach Polymerisation	
Komposit	Keramikdicke	Oberseite	Unterseite	Oberseite	Unterseite
RelyX Unicem®	2 mm	66,5 (65,0) ((±3,71))	55,0 (55,2) ((±1,93))	79,5 (79,1) ((±2,02))	74,5 (74,2) ((±1,22))
	3 mm	63,0 (62,9) ((±2,69))	47,0 (44,7) ((±7,67))	78,0 (77,5) ((±2,46))	69,0 (68,7) ((±3,2))
	4 mm	54,0 (52,8) ((±3,33))	9,0 (7,44) ((±3,83))	74,0 (73,3) ((±2,41))	66,0 (65,0) ((±4,77))
Ambarino Flow®	2 mm	56,5 (53,9) ((±9,12))	27,5 (27,9) ((±3,73))	64,5 (63,9) ((±2,41))	52,0 (50,8) ((±3,98))
	3 mm	46,5 (46,1) ((±3,83))	17,0 (14,7) ((±4,33))	57,0 (57,7) ((±3,15))	44,0 (39,8) ((±8,7))
	4 mm	50,0 (49,8) ((±2,73))	5,0 (6,75) ((±4,64))	58,5 (57,8) ((±1,92))	8,0 (7,4) ((±4,84))
Duo Cement®	2 mm	66,0 (66,3) ((±1,70))	57,0 (57,1) ((±1,45))	69,5 (69,3) ((±1,70))	68,0 (67,6) ((±2,27))
	3 mm	64,5 (64,2) ((±2,66))	56,5 (56,2) ((±2,66))	68,0 (68,1) ((±1,66))	67,5 (67,4) ((±0,97))
	4 mm	63,0 (62,8) ((±2,25))	54,5 (52,8) ((±4,13))	69,5 (68,7) ((±2,00))	67,0 (66,8) ((±1,03))

Tab. 9: Medianwerte, (Mittelwerte) und ((Standardabweichung)) der Barcol-Härten

Halogenlampe Elipar TriLight[®], Oberseite, direkt nach Polymerisation

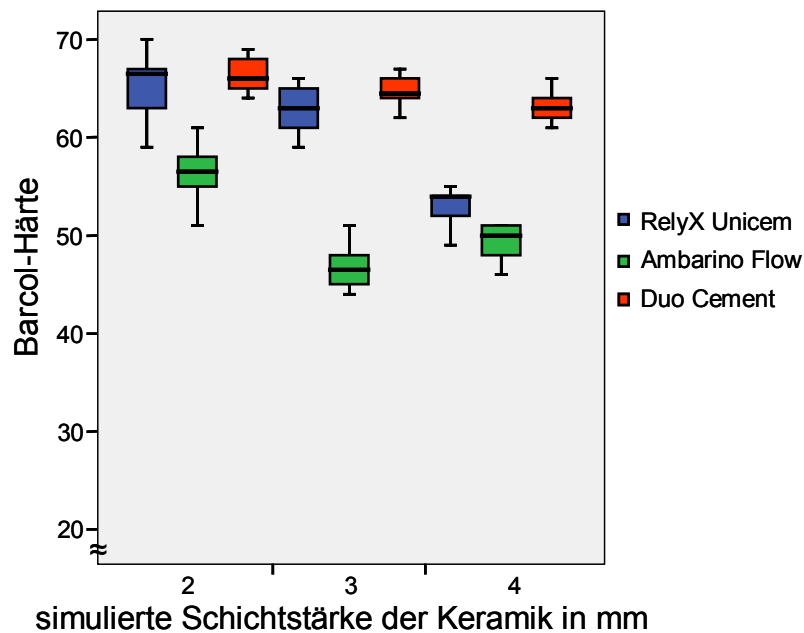


Abb. 9: Graphik der Mediane und Quartile der Barcol-Härten an der **Oberseite** der Prüfkörper **direkt nach Polymerisation** mit der Halogenlampe **Elipar TriLight[®]**; Befestigungsmaterialien: RelyX Unicem[®], Ambarino Flow[®], Duo Cement[®]

Ambarino Flow[®] zeigt an der lichtzugewandten Oberseite bei allen drei simulierten Schichtstärken der Keramik die niedrigsten Werte der Barcol-Härte. Duo Cement[®] erreicht gleich bleibend höhere Werte und RelyX Unicem[®] bildet das Mittelfeld.

Halogenlampe Elipar TriLight[®], Unterseite, direkt nach Polymerisation

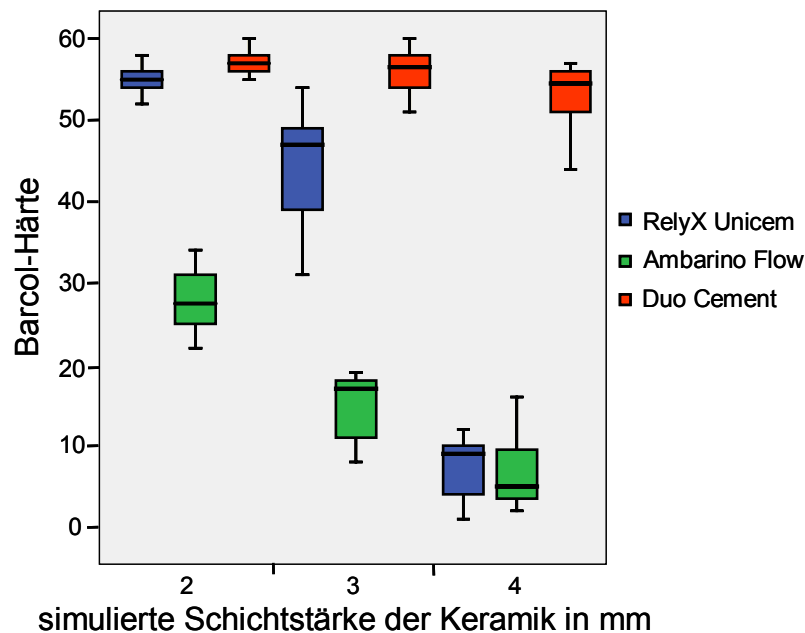


Abb. 10: Graphik der Mediane und Quartile der Barcol-Härten an der **Unterseite** der Prüfkörper **direkt nach Polymerisation** mit der Halogenlampe **Elipar TriLight[®]**; Befestigungsmaterialien: RelyX Unicem[®], Ambarino Flow[®], Duo Cement[®]

Ambarino Flow[®] zeigt an der lichtabgewandten Unterseite bei allen drei simulierten Keramikschichtstärken geringsten Werte der Barcol-Härte. Duo Cement[®] erreicht gleich bleibend höhere Werte und RelyX Unicem[®] bildet das Mittelfeld.

Halogenlampe Elipar TriLight®, Oberseite, eine Woche nach Polymerisation

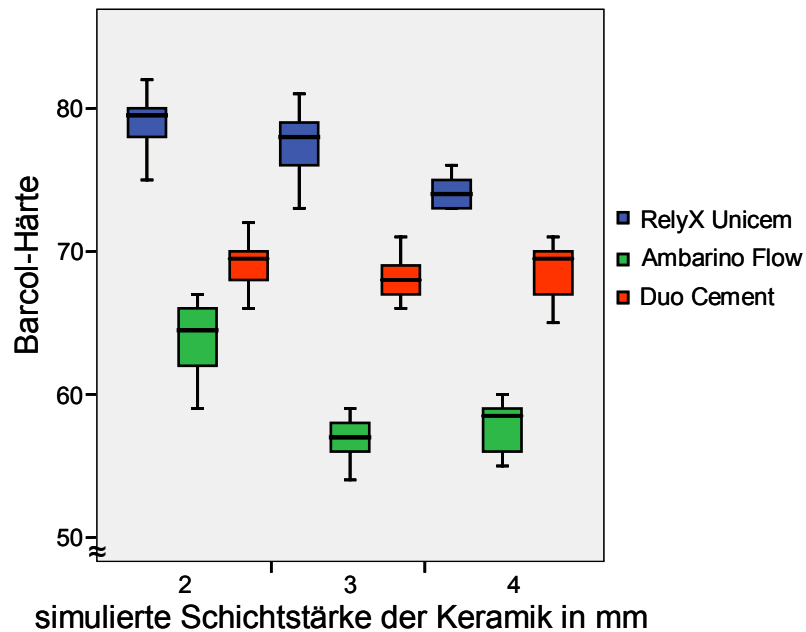


Abb. 11: Graphik der Mediane und Quartile der Barcol-Härten an der **Oberseite** der Prüfkörper **eine Woche nach Polymerisation** mit der Halogenlampe **Elipar TriLight®**; Befestigungsmaterialien: RelyX Unicem®, Ambarino Flow®, Duo Cement®

Bei einer simulierten Keramikschichtstärke von 2, 3 und 4 mm zeigen sich bei RelyX Unicem® die höchsten und bei Ambarino Flow® die geringsten Werte. Es zeigt sich ein minimaler Härteabfall bei allen drei Befestigungskompositen mit zunehmender Keramikschichtstärke.

Halogenlampe Elipar TriLight®, Unterseite, eine Woche nach Polymerisation

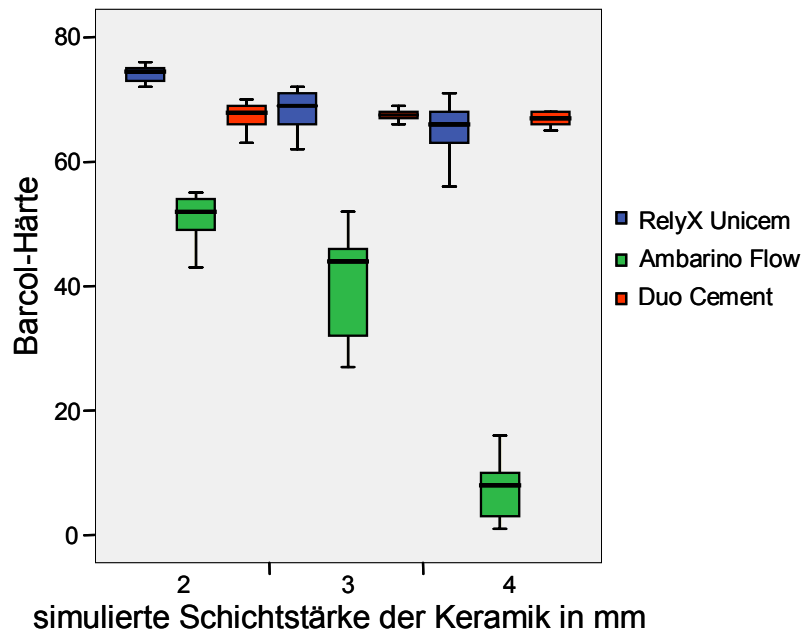


Abb. 12: Graphik der Mediane und Quartile der Barcol-Härten an der **Unterseite** der Prüfkörper **eine Woche nach Polymerisation** mit der Halogenlampe **Elipar TriLight®**; Befestigungsmaterialien: RelyX Unicem®, Ambarino Flow®, Duo Cement®

Bei einer simulierten Keramikschichtstärke von 2 mm zeigen sich bei RelyX Unicem® die höchsten Werte. Bei einer Keramikschichtstärke von 3 und 4 mm zeigen RelyX Unicem® und Duo Cement® ähnliche Härten. Es zeigen sich bei Ambarino Flow® die geringsten Werte bei allen Keramikschichtstärken und es kommt zu einem deutlichen Härteabfall bei Zunahme der Keramikschichtstärke.

5.3.2. Oberflächenhärte der Komposite nach Polymerisation mit der Plasmalampe *crealight*[®]

Plasmalampe - <i>crealight</i> [®] - 10 s Polymerisationsdauer					
n=10 je Gruppe		direkt nach Polymerisation		eine Woche nach Polymerisation	
Komposit	Keramikdicke	Oberseite	Unterseite	Oberseite	Unterseite
RelyX Unicem [®]	2 mm	54,5 (54,4) ((±3,23))	6,0 (7,0) ((±4,47))	65,0 (59,8) ((±12,01))	29,5 (27,6) ((±9,48))
	3 mm	55,0 (54,0) ((±2,44))	-* -*	67,0 (66,6) ((±1,77))	41,5 (41,7) ((±2,98))
	4 mm	56,0 (53,3) ((±8,07))	-* -*	65,0 (64,9) ((±3,03))	43,5 (40,0) ((±8,743))
Ambarino Flow [®]	2 mm	51,5 (50,1) ((±6,13))	18,0 (14,2) ((±7,61))	54,0 (52,5) ((±7,33))	27,0 (26,8) ((±7,45))
	3 mm	58,0 (57,2) ((±2,86))	8,5 (7,2) ((±3,99))	57,5 (56,6) ((±2,65))	6,0 (6,6) ((±3,46))
	4 mm	50,5 (50,5) ((±3,62))	2,0 (2,1) ((±0,73))	53,5 (53,5) ((±1,65))	7,5 (7,4) ((±1,43))
Duo Cement [®]	2 mm	64,5 (64,1) ((±2,02))	56,0 (56,1) ((±1,44))	71,0 (70,9) ((±1,37))	64,5 (59,8) ((±17,59))
	3 mm	63,5 (63,3) ((±2,21))	55,5 (55,9) ((±2,13))	68,5 (67,2) ((±3,19))	63,0 (63,1) ((±2,72))
	4 mm	63,0 (62,4) ((±2,87))	48,5 (47,8) ((±4,18))	65,0 (64,2) ((±2,74))	57,5 (56,6) ((±8,42))

Tab.10: Medianwerte, (Mittelwerte) und ((Standardabweichung)) der Barcol-Härten

* Durch unvollständiges Aushärten oder Brechen der Proben ist es zu keinen messbaren Härten an der Unterseite des RelyX Unicem[®] direkt nach Polymerisation durch die Plasmalampe gekommen.

Plasmalampe *crealight*[®], Oberseite, direkt nach Polymerisation

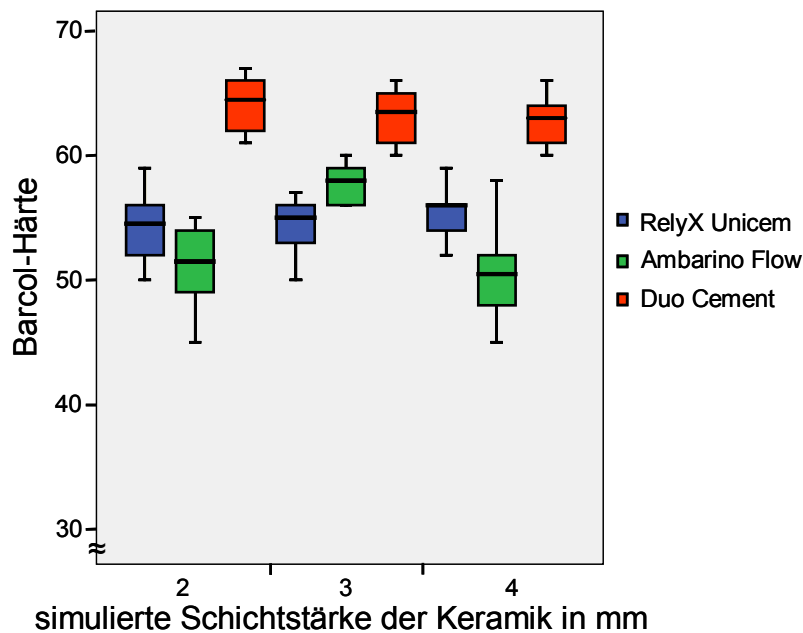


Abb. 13: Graphik der Mediane und Quartile der Barcol-Härten an der **Oberseite** der Prüfkörper **direkt nach Polymerisation** mit der Plasmalampe *crealight*[®]; Befestigungsmaterialien: RelyX Unicem[®], Ambarino Flow[®], Duo Cement[®]

Bei einer simulierten Keramikschichtstärke von 2, 3 und 4 mm zeigen sich bei Duo Cement[®] die höchsten und konstantesten Werte. Geringere konstante Werte zeigen sich bei RelyX Unicem[®]. Die geringsten Werte zeigt Ambarino Flow[®], jedoch zeigt sich ein geringer Härteanstieg bei 3 mm und wiederum ein deutlicher Härteabfall bei 4 mm.

Plasmalampe *crealight*[®], Unterseite, direkt nach Polymerisation

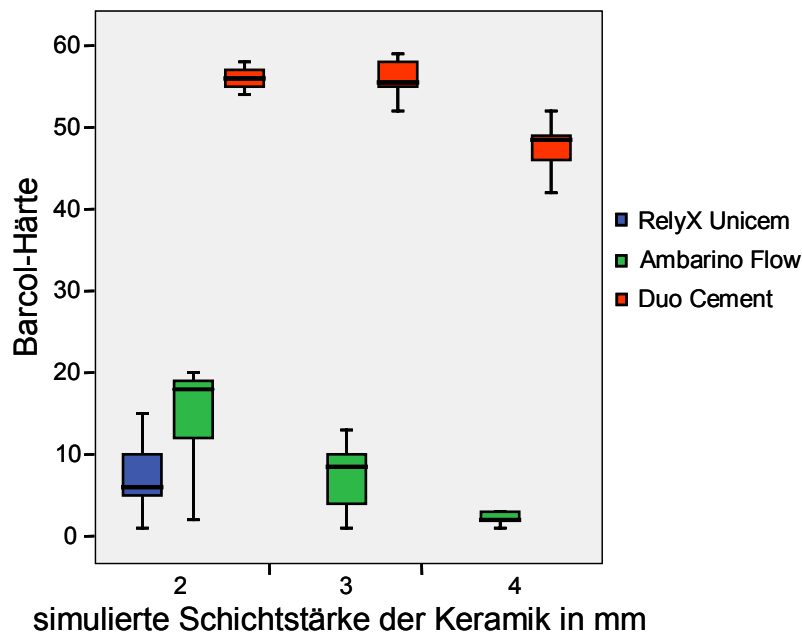


Abb. 14: Graphik der Mediane und Quartile der Barcol-Härten an der **Unterseite** der Prüfkörper **direkt nach Polymerisation** mit der Plasmalampe *crealight*[®]; Befestigungsmaterialien: RelyX Unicem[®], Ambarino Flow[®], Duo Cement[®]

Duo Cement[®] zeigt an der lichtabgewandten Unterseite bei allen drei simulierten Schichtstärken der Keramik die höchsten Werte der Barcol-Härte. Ambarino Flow[®] erreicht geringere Werte. Bei RelyX Unicem[®] zeigt sich nur bei einer Keramikschichtstärke von 2 mm ein messbarer, sehr geringer Wert. Bei einer Keramikschichtstärke von 3 und 4 mm zeigen sich keine messbaren Ergebnisse.

Plasmalampe *crealight*[®], Oberseite, eine Woche nach Polymerisation

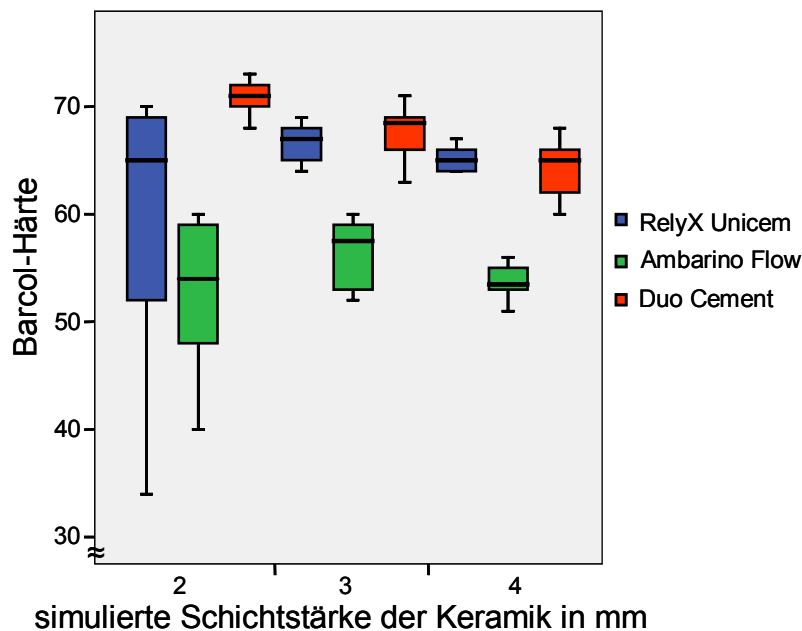


Abb. 15: Graphik der Mediane und Quartile der Barcol-Härten an der **Oberseite** der Prüfkörper **eine Woche nach Polymerisation** mit der Plasmalampe *crealight*[®]; Befestigungsmaterialien: RelyX Unicem[®], Ambarino Flow[®], Duo Cement[®]

Bei einer simulierten Keramikschichtstärke von 2 mm zeigt sich bei RelyX Unicem[®] ein geringerer Wert als bei Duo Cement[®]. Bei Zunahme der Schichtstärke zeigt Duo Cement[®] einen geringen Härteabfall und RelyX Unicem[®] einen geringen Härteanstieg auf ähnliche, konstante Werte. Die geringsten Werte zeigen sich bei Ambarino Flow[®].

Plasmalampe *crealight*[®], Unterseite, eine Woche nach Polymerisation

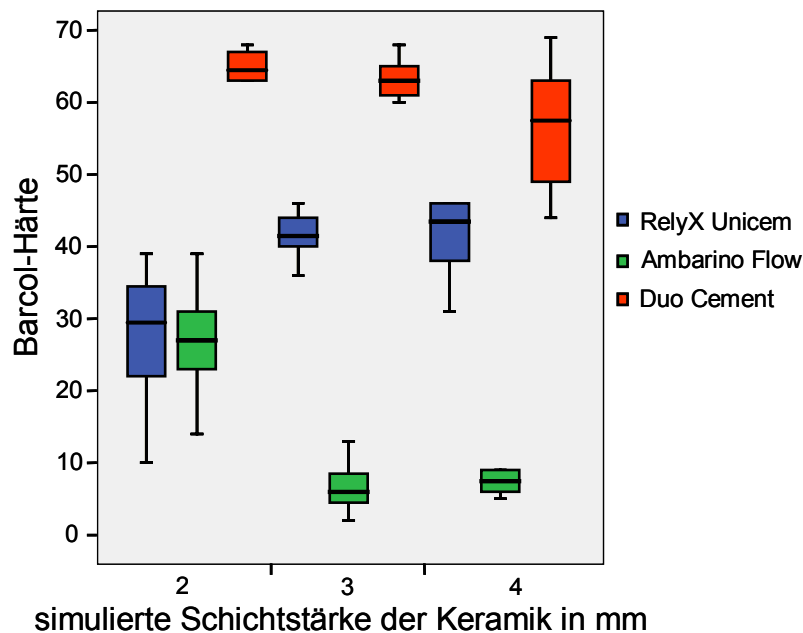


Abb. 16: Graphik der Mediane und Quartile der Barcol-Härten an der **Unterseite** der Prüfkörper **eine Woche nach Polymerisation** mit der Plasmalampe *crealight*[®]; Befestigungsmaterialien: RelyX Unicem[®], Ambarino Flow[®], Duo Cement[®]

Bei einer simulierten Keramikschichtstärke von 2, 3 und 4 mm zeigen sich bei Duo Cement[®] die höchsten Werte. Bei einer Keramikschichtstärke von 2 mm zeigen RelyX Unicem[®] und Ambarino Flow[®] ähnliche, geringere Werte. Bei Zunahme der Keramikschichtstärke zeigt sich bei RelyX Unicem[®] ein deutlicher Härteanstieg und bei Ambarino Flow[®] ein deutlicher Härteabfall.

5.3.3. Oberflächenhärte der Komposite nach Polymerisation mit der LED-Lampe Elipar FreeLight 2[®]

LED-Lampe - Elipar FreeLight 2 [®] - 20 s Polymerisationsdauer					
n=10 je Lampe		direkt nach Polymerisation		eine Woche nach Polymerisation	
Komposit	Keramikdicke	Oberseite	Unterseite	Oberseite	Unterseite
RelyX Unicem [®]	2 mm	65,2 (63,1) ((±8,11))	17,0 (17,0) ((±1,82))	67,5 (67,4) ((±2,71))	37,0 (34,0) ((±10,58))
	3 mm	60,5 (58,9) ((±5,04))	21,5 (21,0) ((±4,92))	66,5 (65,5) ((±4,50))	46,5 (46,6) ((±8,05))
	4 mm	64,0 (62,2) ((±5,28))	19,5 (19,8) ((±3,65))	67,0 (66,7) ((±1,56))	46,0 (44,8) ((±3,65))
Ambarino Flow [®]	2 mm	51,0 (50,4) ((±2,12))	16,0 (14,7) ((±4,49))	57,0 (55,4) ((±4,19))	25,0 (24,6) ((±3,65))
	3 mm	60,0 (59,4) ((±3,06))	12,0 (11,5) ((±5,61))	60,5 (59,3) ((±3,40))	7,0 (9,0) ((±5,65))
	4 mm	48,5 (47,4) ((±2,79))	9,0 (9,1) ((±3,55))	58,0 (57,3) ((±2,98))	15,0 (13,3) ((±4,78))
Duo Cement [®]	2 mm	60,0 (61,1) ((±2,72))	46,5 (46,2) ((±5,07))	68,0 (68,3) ((±1,25))	65,0 (64,3) ((±2,94))
	3 mm	56,0 (56,1) ((±1,91))	39,0 (38,8) ((±5,43))	68,5 (68,4) ((±0,96))	55,5 (54,3) ((±7,40))
	4 mm	52,0 (51,7) ((±2,83))	21,5 (25,8) ((±11,67))	57,5 (57,3) ((±4,05))	35,0 (32,9) ((±10,20))

Tab.11: Medianwerte, (Mittelwerte) und ((Standardabweichung)) der Barcol-Härten

LED-Lampe Elipar FreeLight 2[®], Oberseite, direkt nach Polymerisation

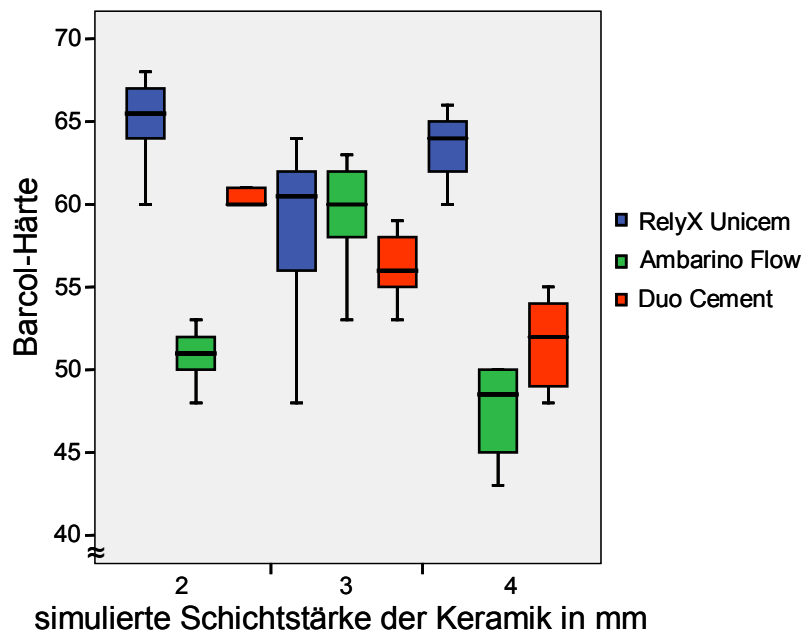


Abb. 17: Graphik der Mediane und Quartile der Barcol-Härten an der **Oberseite** der Prüfkörper **direkt nach Polymerisation** mit der LED-Lampe **Elipar FreeLight 2[®]**; Befestigungsmaterialien: RelyX Unicem[®], Ambarino Flow[®], Duo Cement[®]

Bei einer simulierten Keramikschichtstärke von 2 und 4 mm zeigen sich bei RelyX Unicem[®] höhere und bei Duo Cement[®] geringere Werte. Die geringsten Werte zeigt Ambarino Flow[®]. Bei einer Keramikschichtstärke von 3 mm zeigen allen drei Kompositen ähnliche Werte. Bei RelyX Unicem[®] ist ein geringer Härteanstieg und bei Duo Cement[®] ein geringer Härteabfall zu verzeichnen.

LED-Lampe Elipar FreeLight 2[®], Unterseite, direkt nach Polymerisation

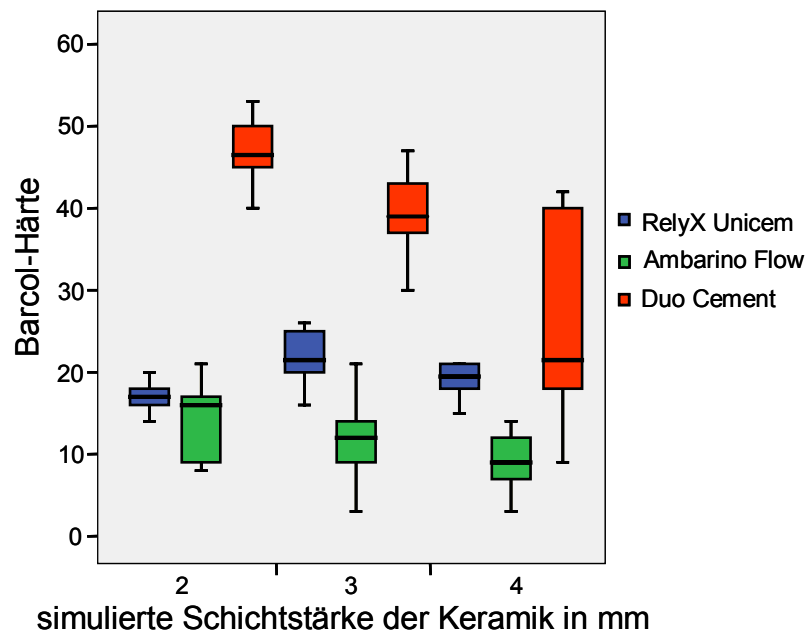


Abb. 18: Graphik der Mediane und Quartile der Barcol-Härten an der **Unterseite** der Prüfkörper **direkt nach Polymerisation** mit der LED-Lampe **Elipar FreeLight 2[®]**; Befestigungsmaterialien: RelyX Unicem[®], Ambarino Flow[®], Duo Cement[®]

Bei einer simulierten Keramikschichtstärke von 2, 3 und 4 mm zeigt Duo Cement[®] die höchsten und Ambarino Flow[®] die geringsten Werte. Mit zunehmender Keramikschichtstärke zeigt sich ein deutlicher Härteabfall bei Duo Cement[®] und Ambarino Flow[®], bei RelyX Unicem[®] zeigt sich ein geringer Härteanstieg.

LED-Lampe Elipar FreeLight 2[®], Oberseite, eine Woche nach Polymerisation

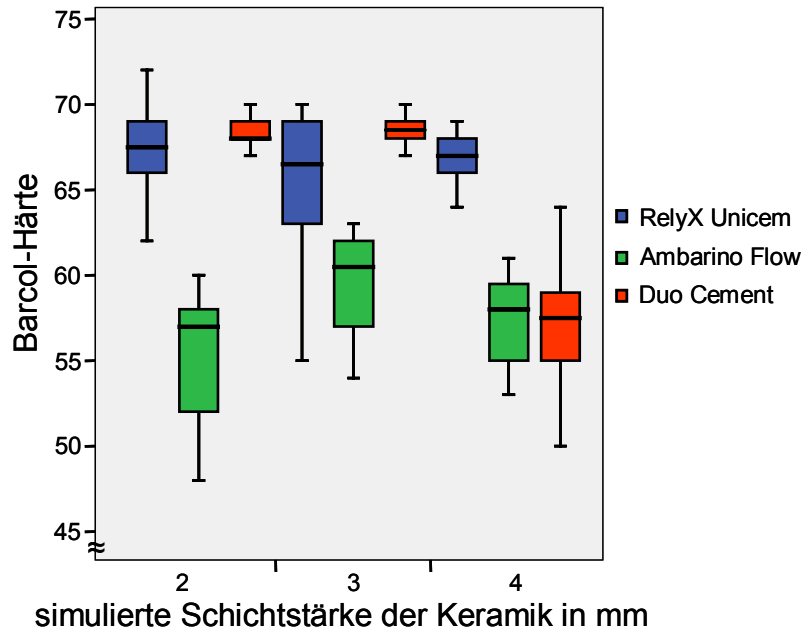


Abb. 19: Graphik der Mediane und Quartile der Barcol-Härten an der **Oberseite** der Prüfkörper **eine Woche nach Polymerisation** mit der LED-Lampe **Elipar FreeLight 2[®]**; Befestigungsmaterialien: RelyX Unicem[®], Ambarino Flow[®], Duo Cement[®]

Bei einer simulierten Keramikschichtstärke von 2 und 3 mm zeigen sich bei RelyX Unicem[®] und Duo Cement[®] ähnlich konstante Werte. Bei zunehmender Keramikschichtstärke zeigen sich bei RelyX Unicem[®] konstante Werte und bei Duo Cement[®] ein deutlicher Härteabfall. Die geringsten Werte bei allen Keramikschichtstärken zeigt Ambarino Flow[®].

LED-Lampe Elipar FreeLight 2[®], Unterseite, eine Woche nach Polymerisation

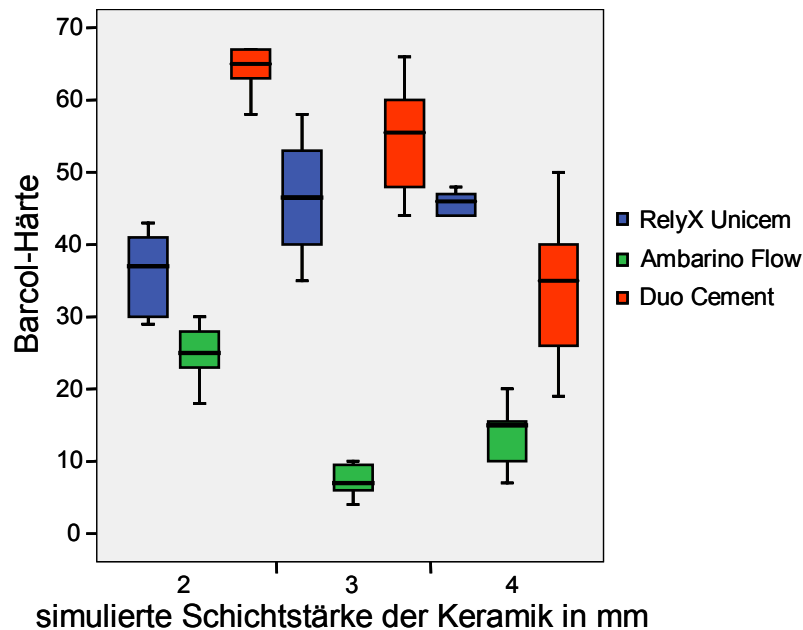


Abb. 20: Graphik der Mediane und Quartile der Barcol-Härten an der **Oberseite** der Prüfkörper **eine Woche nach Polymerisation** mit der LED-Lampe **Elipar FreeLight 2[®]**; Befestigungsmaterialien: RelyX Unicem[®], Ambarino Flow[®], Duo Cement[®]

Bei einer simulierten Keramikschichtstärke von 2 und 3 mm zeigt Duo Cement[®] die höchsten Werte, ein deutlicher Härteabfall zeigt sich bei Zunahme der Keramikschichtstärke. Ein Härteanstieg zeigt sich bei Zunahme der Keramikschichtstärke bei RelyX Unicem[®], bei einer Keramikschichtstärke von 4 mm zeigen sich die größten Werte. Die geringsten Werte bei allen Keramikschichtstärken zeigt Ambarino Flow[®].

5.4. Statistische Tests

5.4.1. Prüfung der Signifikanz

Die weitergehende Auswertung mittels statistischer Testverfahren wurde auf die Parameter „Polymerisationsverfahren“ und „Keramiksichtstärke“ - in Bezug auf das Befestigungsmaterial - begrenzt. Somit ist eine spezielle Betrachtung des Parameters „Befestigungsmaterial“ nicht notwendig. Es wurde eine Prüfung auf Signifikanz bezüglich der Härteprofile und des Zeitpunktes der Messung innerhalb einer Versuchsreihe in Bezug auf die Referenzprobe durchgeführt. Es wurden die Einflussgrößen „Licht“, „Material“, „Materialseite“, „Lagerungsdauer“ und „Keramikstärke“ getestet.

Symbol	Bedeutung	Irrtumswahrscheinlichkeit
ns	nicht signifikant	$p \leq 1$
*	signifikant	$p \leq 0,05$
**	sehr signifikant	$p \leq 0,01$
***	höchst signifikant	$p \leq 0,001$

Tab. 12: Definition des Signifikanzniveaus

5.5. Einfluss der Polymerisationslampe auf die Oberflächenhärte

5.5.1. Komposit RelyX Unicem®

RelyX Unicem®, direkt nach Polymerisation, Oberseite				
Keramik	Lampe	Elipar TriLight®	crealight®	Elipar FreeLight 2®
2 mm	Elipar TriLight® (66,5)	-	***	ns
	crealight® (54,5)	***	-	**
	Elipar FreeLight 2® (65,5)	ns	**	-
3 mm	Elipar TriLight® (63,0)	-	***	*
	crealight® (55,0)	***	-	*
	Elipar FreeLight 2® (60,5)	*	*	-
4 mm	Elipar TriLight® (54,0)	-	ns	***
	crealight® (56,0)	ns	-	*
	Elipar FreeLight 2® (64,0)	***	*	-

Tab. 13: U-Test nach Mann und Whitney, Aufschlüsselung der Signifikanzen
Befestigungsmaterial: RelyX Unicem®; Zeitpunkt der Messung: direkt nach Polymerisation durch eine Keramikschiebstärke von 2 mm, 3 mm und 4 mm;
Ort der Messung: Oberseite; Polymerisationslampen: Halogenlampe: Elipar TriLight®, Plasmalampe: crealight®, LED-Lampe: Elipar FreeLight 2®
 Der in Klammern angegebene Wert direkt hinter den Polymerisationslampen bezieht sich auf die Medianwerte der gemessenen Barcol-Härten einer Probenreihe (n=10).

Bei einer Keramikschiebstärke von 2 mm zeigen die Halogen- und die LED-Lampe keine signifikanten Unterschiede. Die Plasmalampe weist gegenüber den anderen getesteten Lampen signifikant geringere Härten auf.

Bei einer Keramikschiebstärke von 3 mm zeigen die LED- und Plasmalampe signifikant schlechtere Werte als die Halogenlampe, die im Vergleich die höchsten Polymerisationshärten erzielt.

Bei einer Keramikschiebstärke von 4 mm zeigen die Halogen- und Plasmalampe keine signifikanten Unterschiede. Die LED-Lampe schneidet gegenüber den beiden anderen Lampen signifikant besser ab.

RelyX Unicem [®] , direkt nach Polymerisation, Unterseite				
Keramik	Lampe	Elipar TriLight [®]	crealight [®]	Elipar FreeLight 2 [®]
2 mm	Elipar TriLight [®] (55,0)	-	***	***
	crealight [®] (6,0)	***	-	***
	Elipar FreeLight 2 [®] (17,0)	***	***	-
3 mm	Elipar TriLight [®] (47,0)	-	-	***
	crealight [®] (-)	-	-	-
	Elipar FreeLight 2 [®] (21,5)	***	-	-
4 mm	Elipar TriLight [®] (9,0)	-	-	***
	crealight [®] (-)	-	-	-
	Elipar FreeLight 2 [®] (19,5)	***	-	-

Tab. 14: U-Test nach Mann und Whitney, Aufschlüsselung der Signifikanzen
Befestigungsmaterial: RelyX Unicem[®]; Zeitpunkt der Messung: direkt nach Polymerisation durch eine Keramikschichtstärke von 2 mm, 3 mm und 4 mm;
Ort der Messung: Unterseite; Polymerisationslampen: Halogenlampe: Elipar TriLight[®], Plasmalampe: crealight[®], LED-Lampe: Elipar FreeLight 2[®]
Der in Klammern angegebene Wert direkt hinter den Polymerisationslampen bezieht sich auf die Medianwerte der gemessenen Barcol-Härten einer Probenreihe (n=10).

Bei einer Keramikschichtstärke von 2 mm zeigen Plasma- und LED-Lampe höchst signifikant niedrigere Werte als die Halogenlampe.

Bei einer Keramikschichtstärke von 3 mm zeigt die Halogenlampe signifikant höhere Werte als die LED-Lampe. Ein Vergleich zur Plasmalampe kann nicht erfolgen, da es durch unvollständiges Aushärten oder Brechen der Proben zu keinen messbaren Härten gekommen ist.

Bei einer Keramikschichtstärke von 4 mm zeigt die LED-Lampe signifikant höhere Werte als die Halogenlampe. Ein Vergleich zur Plasmalampe kann nicht erfolgen, da es durch unvollständiges Aushärten oder Brechen der Proben zu keinen messbaren Härten gekommen ist.

RelyX Unicem [®] , eine Woche nach Polymerisation, Oberseite				
Keramik	Lampe	Elipar TriLight [®]	crealight [®]	Elipar FreeLight 2 [®]
2 mm	Elipar TriLight [®] (79,5)	-	***	***
	crealight [®] (65,0)	***	-	ns
	Elipar FreeLight 2 [®] (67,5)	***	ns	-
3 mm	Elipar TriLight [®] (78,0)	-	***	***
	crealight [®] (67,0)	***	-	ns
	Elipar FreeLight 2 [®] (66,5)	***	ns	-
4 mm	Elipar TriLight [®] (74,0)	-	***	***
	crealight [®] (65,0)	***	-	ns
	Elipar FreeLight 2 [®] (67,0)	***	ns	-

Tab. 15: U-Test nach Mann und Whitney, Aufschlüsselung der Signifikanzen
Befestigungsmaterial: RelyX Unicem[®]; Zeitpunkt der Messung: eine Woche nach Polymerisation durch eine Keramikschichtstärke von 2 mm, 3 mm und 4 mm; Ort der Messung: Oberseite; Polymerisationslampen: Halogenlampe: Elipar TriLight[®], Plasmalampe: crealight[®], LED-Lampe: Elipar FreeLight 2[®]
 Der in Klammern angegebene Wert direkt hinter den Polymerisationslampen bezieht sich auf die Medianwerte der gemessenen Barcol-Härten einer Probenreihe (n=10).

Bei einer Keramikschichtstärke von 2 mm zeigen die Plasma- und LED-Lampe keine signifikanten Unterschiede. Die Halogenlampe weist gegenüber den beiden anderen Lampen höchst signifikant höhere Werte auf.

Bei einer Keramikschichtstärke von 3 und 4 mm zeigt die Halogenlampe höchst signifikant höhere Werte als die beiden anderen Lampen. Die LED- und Plasmalampe weisen zueinander keine signifikanten Unterschiede auf.

RelyX Unicem[®], eine Woche nach Polymerisation, Unterseite				
Keramik	Lampe	Elipar TriLight[®]	crealight[®]	Elipar FreeLight 2[®]
2 mm	Elipar TriLight [®] (74,5)	-	***	***
	crealight [®] (29,5)	***	-	ns
	Elipar FreeLight 2 [®] (37,0)	***	ns	-
3 mm	Elipar TriLight [®] (69,0)	-	***	***
	crealight [®] (41,5)	***	-	ns
	Elipar FreeLight 2 [®] (46,5)	***	ns	-
4 mm	Elipar TriLight [®] (66,0)	-	***	***
	crealight [®] (43,5)	***	-	ns
	Elipar FreeLight 2 [®] (46,0)	***	ns	-

Tab. 16: U-Test nach Mann und Whitney, Aufschlüsselung der Signifikanzen
Befestigungsmaterial: RelyX Unicem[®]; Zeitpunkt der Messung: eine Woche nach Polymerisation durch eine Keramikschichtstärke von 2 mm, 3 mm und 4 mm; Ort der Messung: Unterseite; Polymerisationslampen: Halogenlampe: Elipar TriLight[®], Plasmalampe: crealight[®], LED-Lampe: Elipar FreeLight 2[®]
 Der in Klammern angegebene Wert direkt hinter den Polymerisationslampen bezieht sich auf die Medianwerte der gemessenen Barcol-Härten einer Probenreihe (n=10).

Bei einer Keramikschichtstärke von 2 mm zeigt die Halogenlampe höchst signifikant höhere Werte als die beiden anderen Lampen. Die Plasmalampe erzielt die niedrigsten Härten, weist jedoch zur LED-Lampe keine signifikanten Unterschiede auf.

Bei einer Keramikschichtstärke von 3 und 4 mm zeigt die Halogenlampe höchst signifikant höhere Werte als die beiden anderen Lampen. Die LED- und Plasmalampe weisen zueinander keine signifikanten Unterschiede auf.

5.5.2. Komposit Ambarino Flow[®]

Ambarino Flow [®] , direkt nach Polymerisation, Oberseite				
Keramik	Lampe	Elipar TriLight [®]	crealight [®]	Elipar FreeLight 2 [®]
2 mm	Elipar TriLight [®] (56,5)	-	*	**
	crealight [®] (51,5)	*	-	ns
	Elipar FreeLight 2 [®] (51,0)	**	ns	-
3 mm	Elipar TriLight [®] (46,5)	-	***	***
	crealight [®] (58,0)	***	-	ns
	Elipar FreeLight 2 [®] (60,0)	***	ns	-
4 mm	Elipar TriLight [®] (50,0)	-	ns	ns
	crealight [®] (50,5)	ns	-	ns
	Elipar FreeLight 2 [®] (48,5)	ns	ns	-

Tab. 17: U-Test nach Mann und Whitney, Aufschlüsselung der Signifikanzen
Befestigungsmaterial: Ambarino Flow[®]; Zeitpunkt der Messung: direkt nach Polymerisation durch eine Keramikschieftstärke von 2 mm, 3 mm und 4 mm;
Ort der Messung: Oberseite; Polymerisationslampen: Halogenlampe: Elipar TriLight[®], Plasmalampe: crealight[®], LED-Lampe: Elipar FreeLight 2[®]
 Der in Klammern angegebene Wert direkt hinter den Polymerisationslampen bezieht sich auf die Medianwerte der gemessenen Barcol-Härten einer Probenreihe (n=10).

Bei einer Keramikschieftstärke von 2 mm zeigen die Plasma- und LED-Lampe keine signifikanten Unterschiede. Die Halogenlampe weist gegenüber den beiden anderen Lampen signifikant höhere Werte auf.

Bei einer Keramikschieftstärke von 3 mm zeigen die Plasma- und LED-Lampe keine signifikanten Unterschiede. Die Halogenlampe weist gegenüber den beiden anderen Lampen höchst signifikant niedrigere Werte auf.

Bei einer Keramikschieftstärke von 4 mm zeigen alle drei Lampen keine signifikanten Unterschiede.

Ambarino Flow [®] , direkt nach Polymerisation, Unterseite				
Keramik	Lampe	Elipar TriLight [®]	crealight [®]	Elipar FreeLight 2 [®]
2 mm	Elipar TriLight [®] (27,5)	-	***	***
	crealight [®] (18,0)	***	-	ns
	Elipar FreeLight 2 [®] (16,0)	***	ns	-
3 mm	Elipar TriLight [®] (17,0)	-	**	ns
	crealight [®] (8,5)	**	-	ns
	Elipar FreeLight 2 [®] (12,0)	ns	ns	-
4 mm	Elipar TriLight [®] (5,0)	-	**	ns
	crealight [®] (2,0)	**	-	***
	Elipar FreeLight 2 [®] (9,0)	ns	***	-

Tab. 18: U-Test nach Mann und Whitney, Aufschlüsselung der Signifikanzen
Befestigungsmaterial: Ambarino Flow[®]; Zeitpunkt der Messung: direkt nach Polymerisation durch eine Keramikschichtstärke von 2 mm, 3 mm und 4 mm;
Ort der Messung: Unterseite; Polymerisationslampen: Halogenlampe: Elipar TriLight[®], Plasmalampe: crealight[®], LED-Lampe: Elipar FreeLight 2[®]
Der in Klammern angegebene Wert direkt hinter den Polymerisationslampen bezieht sich auf die Medianwerte der gemessenen Barcol-Härten einer Probenreihe (n=10).

Bei einer Keramikschichtstärke von 2 und 3 mm zeigen die Plasma- und LED-Lampe keine signifikanten Unterschiede. Die Halogenlampe weist gegenüber den beiden anderen Lampen höchst signifikant höhere Werte auf.

Bei einer Keramikschichtstärke von 4 mm zeigen die Halogen- und LED-Lampe keine signifikanten Unterschiede. Die Plasmalampe weist gegenüber den beiden anderen Lampen signifikant niedrigere Werte auf.

Ambarino Flow[®], eine Woche nach Polymerisation, Oberseite				
Keramik	Lampe	Elipar TriLight[®]	crealight[®]	Elipar FreeLight 2[®]
2 mm	Elipar TriLight [®] (64,5)	-	***	***
	crealight [®] (54,0)	***	-	ns
	Elipar FreeLight 2 [®] (57,0)	***	ns	-
3 mm	Elipar TriLight [®] (57,0)	-	ns	ns
	crealight [®] (57,5)	ns	-	ns
	Elipar FreeLight 2 [®] (60,5)	ns	ns	-
4 mm	Elipar TriLight [®] (58,5)	-	***	ns
	crealight [®] (53,5)	***	-	**
	Elipar FreeLight 2 [®] (58,0)	ns	**	-

Tab. 19: U-Test nach Mann und Whitney, Aufschlüsselung der Signifikanzen
Befestigungsmaterial: Ambarino Flow[®]; Zeitpunkt der Messung: eine Woche nach Polymerisation durch eine Keramikschichtstärke von 2 mm, 3 mm und 4 mm; Ort der Messung: Oberseite; Polymerisationslampen: Halogenlampe: Elipar TriLight[®], Plasmalampe: crealight[®], LED-Lampe: Elipar FreeLight 2[®]
 Der in Klammern angegebene Wert direkt hinter den Polymerisationslampen bezieht sich auf die Medianwerte der gemessenen Barcol-Härten einer Probenreihe (n=10).

Bei einer Keramikschichtstärke von 2 mm zeigen die Plasma- und LED-Lampe keine signifikanten Unterschiede. Die Halogenlampe weist gegenüber den beiden anderen Lampen höchst signifikant höhere Werte auf.

Bei einer Keramikschichtstärke von 3 mm zeigen alle drei Lampen keine signifikanten Unterschiede.

Bei einer Keramikschichtstärke von 4 mm zeigen die Halogen- und LED-Lampe keine signifikanten Unterschiede. Die Plasmalampe weist gegenüber den beiden anderen Lampen höchst signifikant niedrigere Werte auf.

Ambarino Flow[®], eine Woche nach Polymerisation, Unterseite				
Keramik	Lampe	Elipar TriLight[®]	crealight[®]	Elipar FreeLight 2[®]
2 mm	Elipar TriLight [®] (52,0)	-	***	***
	crealight [®] (27,0)	***	-	ns
	Elipar FreeLight 2 [®] (25,0)	***	ns	-
3 mm	Elipar TriLight [®] (44,0)	-	***	***
	crealight [®] (6,0)	***	-	ns
	Elipar FreeLight 2 [®] (7,0)	***	ns	-
4 mm	Elipar TriLight [®] (8,0)	-	ns	*
	crealight [®] (7,5)	ns	-	*
	Elipar FreeLight 2 [®] (15,0)	*	*	-

Tab. 20: U-Test nach Mann und Whitney, Aufschlüsselung der Signifikanzen
Befestigungsmaterial: Ambarino Flow[®]; Zeitpunkt der Messung: eine Woche nach Polymerisation durch eine Keramikschichtstärke von 2 mm, 3 mm und 4 mm; Ort der Messung: Unterseite; Polymerisationslampen: Halogenlampe: Elipar TriLight[®], Plasmalampe: crealight[®], LED-Lampe: Elipar FreeLight 2[®]
 Der in Klammern angegebene Wert direkt hinter den Polymerisationslampen bezieht sich auf die Medianwerte der gemessenen Barcol-Härten einer Probenreihe (n=10).

Bei einer Keramikschichtstärke von 2 und 3 mm zeigen die Plasma- und LED-Lampe keine signifikanten Unterschiede. Die Halogenlampe weist gegenüber den beiden anderen Lampen höchst signifikant höhere Werte auf.

Bei einer Keramikschichtstärke von 4 mm zeigen die Halogen- und Plasmalampe keine signifikanten Unterschiede. Die LED-Lampe weist gegenüber den beiden anderen Lampen signifikant höhere Werte auf.

5.5.3. Komposit Duo Cement plus[®]

Duo Cement [®] , direkt nach Polymerisation, Oberseite				
Keramik	Lampe	Elipar TriLight [®]	crealight [®]	Elipar FreeLight 2 [®]
2 mm	Elipar TriLight [®] (66,0)	-	*	***
	crealight [®] (64,0)	*	-	**
	Elipar FreeLight 2 [®] (60,0)	***	**	-
3 mm	Elipar TriLight [®] (64,5)	-	ns	***
	crealight [®] (63,5)	ns	-	***
	Elipar FreeLight 2 [®] (56,0)	***	***	-
4 mm	Elipar TriLight [®] (63,0)	-	ns	***
	crealight [®] (63,0)	ns	-	***
	Elipar FreeLight 2 [®] (52,0)	***	***	-

Tab. 21: U-Test nach Mann und Whitney, Aufschlüsselung der Signifikanzen
Befestigungsmaterial: Duo Cement[®]; Zeitpunkt der Messung: direkt nach Polymerisation durch eine Keramikschiebstärke von 2 mm, 3 mm und 4 mm;
Ort der Messung: Oberseite; Polymerisationslampen: Halogenlampe: Elipar TriLight[®], Plasmalampe: crealight[®], LED-Lampe: Elipar FreeLight 2[®]
 Der in Klammern angegebene Wert direkt hinter den Polymerisationslampen bezieht sich auf die Medianwerte der gemessenen Barcol-Härten einer Probenreihe (n=10).

Bei einer Keramikschiebstärke von 2 mm zeigen alle Lampen signifikante bis höchst signifikante Unterschiede zueinander. Die Halogenlampe weist gegenüber den beiden anderen Lampen signifikant höhere Werte auf.

Bei einer Keramikschiebstärke von 3 und 4 mm zeigen die Halogen- und Plasmalampe keine signifikanten Unterschiede. Die LED-Lampe weist gegenüber den beiden anderen Lampen höchst signifikant niedrigere Werte auf.

Duo Cement [®] , direkt nach Polymerisation, Unterseite				
Keramik	Lampe	Elipar TriLight [®]	crealight [®]	Elipar FreeLight 2 [®]
2 mm	Elipar TriLight [®] (57,0)	-	ns	***
	crealight [®] (56,0)	ns	-	***
	Elipar FreeLight 2 [®] (46,5)	***	***	-
3 mm	Elipar TriLight [®] (56,5)	-	ns	***
	crealight [®] (55,5)	ns	-	***
	Elipar FreeLight 2 [®] (39,0)	***	***	-
4 mm	Elipar TriLight [®] (54,5)	-	*	***
	crealight [®] (48,5)	*	-	***
	Elipar FreeLight 2 [®] (21,5)	***	***	-

Tab. 22: U-Test nach Mann und Whitney, Aufschlüsselung der Signifikanzen
Befestigungsmaterial: Duo Cement[®]; Zeitpunkt der Messung: direkt nach Polymerisation durch eine Keramikschichtstärke von 2 mm, 3 mm und 4 mm;
Ort der Messung: Unterseite; Polymerisationslampen: Halogenlampe: Elipar TriLight[®], Plasmalampe: crealight[®], LED-Lampe: Elipar FreeLight 2[®]
 Der in Klammern angegebene Wert direkt hinter den Polymerisationslampen bezieht sich auf die Medianwerte der gemessenen Barcol-Härten einer Probenreihe (n=10).

Bei einer Keramikschichtstärke von 2 und 3 mm zeigen die Halogen- und Plasmalampe keine signifikanten Unterschiede. Die LED-Lampe weist gegenüber den beiden anderen Lampen höchst signifikant niedrigere Werte auf. Bei einer Keramikschichtstärke von 4 mm zeigen alle Lampen signifikante bis höchst signifikante Unterschiede zueinander. Die Halogenlampe weist gegenüber den beiden anderen Lampen signifikant höhere Werte auf.

Duo Cement [®] , eine Woche nach Polymerisation, Oberseite				
Keramik	Lampe	Elipar TriLight [®]	crealight [®]	Elipar FreeLight 2 [®]
2 mm	Elipar TriLight [®] (69,5)	-	ns	ns
	crealight [®] (71,0)	ns	-	***
	Elipar FreeLight 2 [®] (68,0)	ns	***	-
3 mm	Elipar TriLight [®] (68,0)	-	ns	ns
	crealight [®] (68,5)	ns	-	ns
	Elipar FreeLight 2 [®] (68,5)	ns	ns	-
4 mm	Elipar TriLight [®] (69,5)	-	***	***
	crealight [®] (65,0)	***	-	***
	Elipar FreeLight 2 [®] (57,5)	***	***	-

Tab. 23: U-Test nach Mann und Whitney, Aufschlüsselung der Signifikanzen
Befestigungsmaterial: Duo Cement[®]; Zeitpunkt der Messung: eine Woche nach Polymerisation durch eine Keramikschiechtstärke von 2 mm, 3 mm und 4 mm;
Ort der Messung: Oberseite; Polymerisationslampen: Halogenlampe: Elipar TriLight[®], Plasmalampe: crealight[®], LED-Lampe: Elipar FreeLight 2[®]
 Der in Klammern angegebene Wert direkt hinter den Polymerisationslampen bezieht sich auf die Medianwerte der gemessenen Barcol-Härten einer Probenreihe (n=10).

Bei einer Keramikschiechtstärke von 2 mm zeigt die Halogenlampe keinen signifikanten Unterschied zu den beiden anderen Lampen. Die Plasmalampe zeigt einen höchst signifikanten Unterschied zur LED- Lampe.

Bei einer Keramikschiechtstärke von 3 mm zeigen alle Lampen keine signifikanten Unterschiede zueinander.

Bei einer Keramikschiechtstärke von 4 mm zeigen alle Lampen höchst signifikante Unterschiede zueinander. Die Halogenlampe weist gegenüber den beiden anderen Lampen höchst signifikant höhere Werte.

Duo Cement[®], eine Woche nach Polymerisation, Unterseite				
Keramik	Lampe	Elipar TriLight[®]	crealight[®]	Elipar FreeLight 2[®]
2 mm	Elipar TriLight [®] (68,0)	-	*	**
	crealight [®] (64,5)	*	-	ns
	Elipar FreeLight 2 [®] (65,0)	**	ns	-
3 mm	Elipar TriLight [®] (67,5)	-	***	***
	crealight [®] (63,0)	***	-	**
	Elipar FreeLight 2 [®] (55,5)	***	**	-
4 mm	Elipar TriLight [®] (67,0)	-	**	***
	crealight [®] (57,5)	**	-	***
	Elipar FreeLight 2 [®] (35,0)	***	***	-

Tab. 24: U-Test nach Mann und Whitney, Aufschlüsselung der Signifikanzen
Befestigungsmaterial: Duo Cement[®]; Zeitpunkt der Messung: eine Woche nach Polymerisation durch eine Keramikschichtstärke von 2 mm, 3 mm und 4 mm;
Ort der Messung: Unterseite; Polymerisationslampen: Halogenlampe: Elipar TriLight[®], Plasmalampe: crealight[®], LED-Lampe: Elipar FreeLight 2[®]
Der in Klammern angegebene Wert direkt hinter den Polymerisationslampen bezieht sich auf die Medianwerte der gemessenen Barcol-Härten einer Probenreihe (n=10).

Bei einer Keramikschichtstärke von 2 mm zeigen Plasma- und LED-Lampe keine signifikanten Unterschiede. Die Halogenlampe weist gegenüber den beiden anderen Lampen signifikant bis sehr signifikant höhere Werte auf.

Bei einer Keramikschichtstärke von 3 und 4 mm zeigen alle Lampen sehr bis höchst signifikante Unterschiede zueinander. Die Halogenlampe weist gegenüber den beiden anderen Lampen signifikant höhere Werte und die LED-Lampe höchst signifikant niedrigere Werte auf.

5.6. Einfluss der Keramikschichtstärke auf die Oberflächenhärte bezogen auf die Referenzwerte

5.6.1. Komposit RelyX Unicem[®]

RelyX Unicem [®] , direkt nach Polymerisation, Oberseite				
Lampe	Keramik	2 mm	3 mm	4 mm
Elipar TriLight [®]	2 mm (66,5)	-	ns	***
	3 mm (63,0)	ns	-	***
	4 mm (54,0)	***	***	-
crealight [®]	2 mm (54,5)	-	ns	ns
	3 mm (55,0)	ns	-	ns
	4 mm (56,0)	ns	ns	-
Elipar FreeLight 2 [®]	2 mm (65,5)	-	**	ns
	3 mm (60,5)	**	-	*
	4 mm (64,0)	ns	*	-

Tab. 25: U-Test nach Mann und Whitney, Aufschlüsselung der Signifikanzen
Befestigungsmaterial: RelyX Unicem[®]; Zeitpunkt der Messung: direkt nach Polymerisation durch eine Keramikschichtstärke von 2 mm, 3 mm und 4 mm;
Ort der Messung: Oberseite; Polymerisationslampen: Halogenlampe: Elipar TriLight[®], Plasmalampe: crealight[®], LED-Lampe: Elipar FreeLight 2[®]
 Der in Klammern angegebene Wert direkt hinter den Keramikschichtstärken bezieht sich auf die Medianwerte der gemessenen Barcol-Härten einer Probenreihe (n=10).

Bei Polymerisation mit der Halogenlampe zeigen sich bei einer Keramikschichtstärke von 2 und 3 mm keine signifikanten Unterschiede. Bei einer Keramikschichtstärke von 4 mm zeigen sich höchst signifikant niedrigere Werte. Bei der Polymerisation mit der Plasmalampe zeigt sich bei allen drei Keramikschichtstärken kein signifikanter Unterschied.

Bei der Polymerisation mit der LED-Lampe zeigen sich bei einer Keramikschichtstärke von 2 und 4 mm keine signifikanten Unterschiede. Bei einer Keramikschichtstärke von 3 mm zeigen sich sehr signifikant niedrigere Werte.

RelyX Unicem [®] , direkt nach Polymerisation, Unterseite				
Lampe	Keramik	2 mm	3 mm	4 mm
Elipar TriLight [®]	2 mm (55,0)	-	***	***
	3 mm (47,0)	***	-	***
	4 mm (9,0)	***	***	-
crealight [®]	2 mm (6,0)	-	-	-
	3 mm (-)	-	-	-
	4 mm (-)	-	-	-
Elipar FreeLight 2 [®]	2 mm (17,0)	-	*	ns
	3 mm (21,5)	*	-	ns
	4 mm (19,5)	ns	ns	-

Tab. 26: U-Test nach Mann und Whitney, Aufschlüsselung der Signifikanzen
Befestigungsmaterial: RelyX Unicem[®]; Zeitpunkt der Messung: direkt nach Polymerisation durch eine Keramikschiechtstärke von 2 mm, 3 mm und 4 mm;
Ort der Messung: Unterseite; Polymerisationslampen: Halogenlampe: Elipar TriLight[®], Plasmalampe: crealight[®], LED-Lampe: Elipar FreeLight 2[®]
Der in Klammern angegebene Wert direkt hinter den Polymerisationslampen bezieht sich auf die Medianwerte der gemessenen Barcol-Härten einer Probenreihe (n=10).

Bei Polymerisation mit der Halogenlampe zeigen sich bei allen Keramikschiechtstärken höchst signifikante Unterschiede. Bei einer Keramikschiechtstärke von 2 mm zeigen sich höchst signifikant höhere und bei 4 mm höchst signifikant niedrigere Werte.

Bei Polymerisation mit der Plasmalampe kann ein Vergleich der Keramikschiechtstärken nicht erfolgen, da es durch unvollständiges Aushärten oder Brechen der Proben zu keinen messbaren Härten gekommen ist.

Bei der Polymerisation mit der LED-Lampe zeigen sich bei einer Keramikschiechtstärke von 2 und 4 mm keine signifikanten Unterschiede. Bei einer Keramikschiechtstärke von 3 mm zeigen sich signifikant höhere Werte.

RelyX Unicem[®], eine Woche nach Polymerisation, Oberseite				
Lampe	Keramik	2 mm	3 mm	4 mm
Elipar TriLight [®]	2 mm (79,5)	-	ns	***
	3 mm (78,0)	ns	-	**
	4 mm (74,0)	***	**	-
crealight [®]	2 mm (65,0)	-	ns	ns
	3 mm (67,0)	ns	-	ns
	4 mm (65,0)	ns	ns	-
Elipar FreeLight 2 [®]	2 mm (67,5)	-	ns	ns
	3 mm (66,5)	ns	-	ns
	4 mm (67,0)	ns	ns	-

Tab. 27: U-Test nach Mann und Whitney, Aufschlüsselung der Signifikanzen
Befestigungsmaterial: RelyX Unicem[®]; Zeitpunkt der Messung: eine Woche nach Polymerisation durch eine Keramikschiechtstärke von 2 mm, 3 mm und 4 mm; Ort der Messung: Oberseite; Polymerisationslampen: Halogenlampe: Elipar TriLight[®], Plasmalampe: crealight[®], LED-Lampe: Elipar FreeLight 2[®]
 Der in Klammern angegebene Wert direkt hinter den Polymerisationslampen bezieht sich auf die Medianwerte der gemessenen Barcol-Härten einer Probenreihe (n=10).

Bei der Polymerisation mit der Halogenlampe zeigen sich bei einer Keramikschiechtstärke von 2 und 3 mm keine signifikanten Unterschiede. Bei einer Keramikschiechtstärke von 4 mm zeigen sich höchst signifikant niedrigere Werte.

Bei Polymerisation mit der Plasma- und der LED-Lampe zeigen sich bei allen Keramikschiechtstärken keine signifikanten Unterschiede.

RelyX Unicem[®], eine Woche nach Polymerisation, Unterseite				
Lampe	Keramik	2 mm	3 mm	4 mm
Elipar TriLight [®]	2 mm (74,5)	-	***	***
	3 mm (69,0)	***	-	*
	4 mm (66,0)	***	*	-
crealight [®]	2 mm (29,5)	-	***	*
	3 mm (41,5)	***	-	ns
	4 mm (43,5)	*	ns	-
Elipar FreeLight 2 [®]	2 mm (37,0)	-	**	***
	3 mm (46,5)	**	-	ns
	4 mm (46,0)	***	ns	-

Tab. 28: U-Test nach Mann und Whitney, Aufschlüsselung der Signifikanzen
Befestigungsmaterial: RelyX Unicem[®]; Zeitpunkt der Messung: eine Woche nach Polymerisation durch eine Keramikschichtstärke von 2 mm, 3 mm und 4 mm; Ort der Messung: Unterseite; Polymerisationslampen: Halogenlampe: Elipar TriLight[®], Plasmalampe: crealight[®], LED-Lampe: Elipar FreeLight 2[®]
 Der in Klammern angegebene Wert direkt hinter den Polymerisationslampen bezieht sich auf die Medianwerte der gemessenen Barcol-Härten einer Probenreihe (n=10).

Bei Polymerisation mit der Halogenlampe zeigen sich bei allen Keramikschichtstärken höchst signifikante Unterschiede. Bei einer Keramikschichtstärke von 2 mm zeigen sich gegenüber 3 und 4 mm signifikant höhere Werte.

Bei der Polymerisation mit der Plasma- und LED-Lampe zeigen sich bei einer Keramikschichtstärke von 3 und 4 mm keine signifikanten Unterschiede. Bei einer Keramikschichtstärke von 2 mm zeigen sich höchst signifikant niedrigere Werte.

5.6.2. Komposit Ambarino Flow[®]

Ambarino Flow [®] , direkt nach Polymerisation, Oberseite				
Lampe	Keramik	2 mm	3 mm	4 mm
Elipar TriLight [®]	2 mm (56,5)	-	**	**
	3 mm (46,5)	**	-	*
	4 mm (50,0)	**	*	-
crealight [®]	2 mm (51,5)	-	***	ns
	3 mm (58,0)	***	-	***
	4 mm (50,5)	ns	***	-
Elipar FreeLight 2 [®]	2 mm (51,0)	-	***	**
	3 mm (60,0)	***	-	***
	4 mm (48,5)	**	***	-

Tab. 29: U-Test nach Mann und Whitney, Aufschlüsselung der Signifikanzen
Befestigungsmaterial: Ambarino Flow[®]; Zeitpunkt der Messung: direkt nach Polymerisation durch eine Keramikschieftstärke von 2 mm, 3 mm und 4 mm;
Ort der Messung: Oberseite; Polymerisationslampen: Halogenlampe: Elipar TriLight[®], Plasmalampe: crealight[®], LED-Lampe: Elipar FreeLight 2[®]
 Der in Klammern angegebene Wert direkt hinter den Polymerisationslampen bezieht sich auf die Medianwerte der gemessenen Barcol-Härten einer Probenreihe (n=10).

Bei Polymerisation mit der Halogenlampe zeigen sich bei allen Keramikschieftstärken signifikante bis sehr signifikante Unterschiede.

Bei der Polymerisation mit der Plasmalampe zeigen sich bei einer Keramikschieftstärke von 2 und 4 mm keine signifikanten Unterschiede. Bei einer Keramikschieftstärke von 3 mm zeigen sich höchst signifikant höhere Werte.

Bei Polymerisation mit der LED-Lampe zeigen sich bei allen Keramikschieftstärken signifikante Unterschiede. Bei einer Keramikschieftstärke von 3 mm zeigen sich signifikant höhere Werte.

Ambarino Flow [®] , direkt nach Polymerisation, Unterseite				
Lampe	Keramik	2 mm	3 mm	4 mm
Elipar TriLight [®]	2 mm (27,5)	-	***	***
	3 mm (17,0)	***	-	**
	4 mm (5,0)	***	**	-
crealight [®]	2 mm (18,0)	-	*	**
	3 mm (8,5)	*	-	**
	4 mm (2,0)	**	**	-
Elipar FreeLight 2 [®]	2 mm (16,0)	-	ns	**
	3 mm (12,0)	ns	-	ns
	4 mm (9,0)	**	ns	-

Tab. 30: U-Test nach Mann und Whitney, Aufschlüsselung der Signifikanzen
Befestigungsmaterial: Ambarino Flow[®]; Zeitpunkt der Messung: direkt nach Polymerisation durch eine Keramikschiechtstärke von 2 mm, 3 mm und 4 mm;
Ort der Messung: Unterseite; Polymerisationslampen: Halogenlampe: Elipar TriLight[®], Plasmalampe: crealight[®], LED-Lampe: Elipar FreeLight 2[®]
 Der in Klammern angegebene Wert direkt hinter den Polymerisationslampen bezieht sich auf die Medianwerte der gemessenen Barcol-Härten einer Probenreihe (n=10).

Bei Polymerisation mit der Halogen- und Plasmalampe zeigen sich bei allen Keramikschiechtstärken sehr bis höchst signifikante Unterschiede.

Bei der Polymerisation mit der LED-Lampe zeigen sich bei einer Keramikschiechtstärke von 2 und 3 mm keine signifikanten Unterschiede. Bei einer Keramikschiechtstärke von 4 mm zeigen sich sehr signifikant niedrigere Werte.

Ambarino Flow[®], eine Woche nach Polymerisation, Oberseite				
Lampe	Keramik	2 mm	3 mm	4 mm
Elipar TriLight [®]	2 mm (64,5)	-	***	***
	3 mm (57,0)	***	-	ns
	4 mm (58,5)	***	ns	-
crealight [®]	2 mm (54,0)	-	ns	ns
	3 mm (57,5)	ns	-	*
	4 mm (53,5)	ns	*	-
Elipar FreeLight 2 [®]	2 mm (57,0)	-	*	ns
	3 mm (60,5)	*	-	ns
	4 mm (58,0)	ns	ns	-

Tab. 31: U-Test nach Mann und Whitney, Aufschlüsselung der Signifikanzen
Befestigungsmaterial: Ambarino Flow[®]; Zeitpunkt der Messung: eine Woche
nach Polymerisation durch eine Keramikschichtstärke von 2 mm, 3 mm und 4
mm; Ort der Messung: Oberseite; Polymerisationslampen: Halogenlampe:
Elipar TriLight[®], Plasmalampe: crealight[®], LED-Lampe: Elipar FreeLight 2[®]
Der in Klammern angegebene Wert direkt hinter den Polymerisationslampen
bezieht sich auf die Medianwerte der gemessenen Barcol-Härten einer
Probenreihe (n=10).

Bei der Polymerisation mit der Halogenlampe zeigen sich bei einer
Keramikschichtstärke von 3 und 4 mm keine signifikanten Unterschiede. Bei
einer Keramikschichtstärke von 2 mm zeigen sich höchst signifikant höhere
Werte.

Bei Polymerisation mit der Plasmalampe zeigen sich bei 2 mm keine
signifikanten Unterschiede bei allen Keramikschichtstärken. Bei einer
Keramikschichtstärke von 3 zu 4 mm zeigen sich signifikant höhere Werte.

Bei Polymerisation mit der LED-Lampe zeigen sich bei einer
Keramikschichtstärke von 2 und 4 mm keine signifikanten Unterschiede. Bei
einer Keramikschichtstärke von 3 mm zeigen sich signifikant höhere Werte.

Ambarino Flow[®], eine Woche nach Polymerisation, Unterseite				
Lampe	Keramik	2 mm	3 mm	4 mm
Elipar TriLight [®]	2 mm (52,0)	-	**	***
	3 mm (44,0)	**	-	***
	4 mm (8,0)	***	***	-
crealight [®]	2 mm (27,0)	-	***	***
	3 mm (6,0)	***	-	ns
	4 mm (7,5)	***	ns	-
Elipar FreeLight 2 [®]	2 mm (25,0)	-	***	***
	3 mm (7,0)	***	-	ns
	4 mm (15,0)	***	ns	-

Tab. 32: U-Test nach Mann und Whitney, Aufschlüsselung der Signifikanzen
Befestigungsmaterial: Ambarino Flow[®]; Zeitpunkt der Messung: eine Woche
nach Polymerisation durch eine Keramikschichtstärke von 2 mm, 3 mm und 4
mm; Ort der Messung: Unterseite; Polymerisationslampen: Halogenlampe:
Elipar TriLight[®], Plasmalampe: crealight[®], LED-Lampe: Elipar FreeLight 2[®]
Der in Klammern angegebene Wert direkt hinter den Polymerisationslampen
bezieht sich auf die Medianwerte der gemessenen Barcol-Härten einer
Probenreihe (n=10).

Bei Polymerisation mit der Halogenlampe zeigen sich bei allen
Keramikschichtstärken sehr bis höchst signifikante Unterschiede. Bei der
Polymerisation mit der Plasma- und LED-Lampe zeigen sich bei einer
Keramikschichtstärke von 3 und 4 mm keine signifikanten Unterschiede. Bei
einer Keramikschichtstärke von 2 mm zeigen sich höchst signifikant höhere
Werte.

5.6.3. Komposit Duo Cement plus[®]

Duo Cement [®] , direkt nach Polymerisation, Oberseite				
Lampe	Keramik	2 mm	3 mm	4 mm
Elipar TriLight [®]	2 mm (66,0)	-	ns	***
	3 mm (64,5)	ns	-	ns
	4 mm (63,0)	***	ns	-
crealight [®]	2 mm (64,5)	-	ns	ns
	3 mm (63,5)	ns	-	ns
	4 mm (63,0)	ns	ns	-
Elipar FreeLight 2 [®]	2 mm (60,0)	-	***	***
	3 mm (56,0)	***	-	***
	4 mm (52,0)	***	***	-

Tab. 33: U-Test nach Mann und Whitney, Aufschlüsselung der Signifikanzen
Befestigungsmaterial: Duo Cement[®]; Zeitpunkt der Messung: direkt nach Polymerisation durch eine Keramiksichtstärke von 2 mm, 3 mm und 4 mm;
Ort der Messung: Oberseite; Polymerisationslampen: Halogenlampe: Elipar TriLight[®], Plasmalampe: crealight[®], LED-Lampe: Elipar FreeLight 2[®]
 Der in Klammern angegebene Wert direkt hinter den Polymerisationslampen bezieht sich auf die Medianwerte der gemessenen Barcol-Härten einer Probenreihe (n=10).

Bei der Polymerisation mit der Halogenlampe zeigen sich bei einer Keramiksichtstärke von 2 und 3 mm beziehungsweise von 3 auf 4 mm keine signifikanten Unterschiede. Bei einer Keramiksichtstärke von 2 zu 4 mm zeigen sich höchst signifikant höhere Werte.

Bei Polymerisation mit der Plasmalampe zeigen sich bei allen Keramiksichtstärken keine signifikanten Unterschiede.

Bei Polymerisation mit der LED-Lampe zeigen sich bei allen Keramiksichtstärken höchst signifikante Unterschiede.

Duo Cement[®], direkt nach Polymerisation, Unterseite				
Lampe	Keramik	2 mm	3 mm	4 mm
Elipar TriLight [®]	2 mm (57,0)	-	ns	**
	3 mm (56,5)	ns	-	*
	4 mm (54,5)	**	*	-
crealight [®]	2 mm (56,0)	-	ns	***
	3 mm (55,5)	ns	-	***
	4 mm (48,5)	***	***	-
Elipar FreeLight 2 [®]	2 mm (46,5)	-	**	***
	3 mm (39,0)	**	-	*
	4 mm (21,5)	***	*	-

Tab. 34: U-Test nach Mann und Whitney, Aufschlüsselung der Signifikanzen
Befestigungsmaterial: Duo Cement[®]; Zeitpunkt der Messung: direkt nach Polymerisation durch eine Keramikschiechtstärke von 2 mm, 3 mm und 4 mm;
Ort der Messung: Unterseite; Polymerisationslampen: Halogenlampe: Elipar TriLight[®], Plasmalampe: crealight[®], LED-Lampe: Elipar FreeLight 2[®]
 Der in Klammern angegebene Wert direkt hinter den Polymerisationslampen bezieht sich auf die Medianwerte der gemessenen Barcol-Härten einer Probenreihe (n=10).

Bei der Polymerisation mit der Halogen- und Plasmalampe zeigen sich bei einer Keramikschiechtstärke von 2 und 3 mm keine signifikanten Unterschiede. Bei einer Keramikschiechtstärke von 4 mm zeigen sich sehr bis höchst signifikant niedrigere Werte.

Bei Polymerisation mit der LED-Lampe zeigen sich bei allen Keramikschiechtstärken signifikante bis höchst signifikante Unterschiede.

Duo Cement[®], eine Woche nach Polymerisation, Oberseite				
Lampe	Keramik	2 mm	3 mm	4 mm
Elipar TriLight [®]	2 mm (69,5)	-	ns	ns
	3 mm (68,0)	ns	-	ns
	4 mm (69,5)	ns	ns	-
crealight [®]	2 mm (71,0)	-	**	***
	3 mm (68,5)	**	-	*
	4 mm (65,0)	***	*	-
Elipar FreeLight 2 [®]	2 mm (68,0)	-	ns	***
	3 mm (68,5)	ns	-	***
	4 mm (57,5)	***	***	-

Tab. 35: U-Test nach Mann und Whitney, Aufschlüsselung der Signifikanzen
Befestigungsmaterial: Duo Cement[®]; Zeitpunkt der Messung: eine Woche nach Polymerisation durch eine Keramikschiechtstärke von 2 mm, 3 mm und 4 mm;
Ort der Messung: Oberseite; Polymerisationslampen: Halogenlampe: Elipar TriLight[®], Plasmalampe: crealight[®], LED-Lampe: Elipar FreeLight 2[®]
 Der in Klammern angegebene Wert direkt hinter den Polymerisationslampen bezieht sich auf die Medianwerte der gemessenen Barcol-Härten einer Probenreihe (n=10).

Bei Polymerisation mit der Halogenlampe zeigen sich bei allen Keramikschiechtstärken keine signifikanten Unterschiede.

Bei Polymerisation mit der Plasmalampe zeigen sich bei allen Keramikschiechtstärken signifikant bis höchst signifikant Unterschiede.

Bei der Polymerisation mit der LED-Lampe zeigen sich bei einer Keramikschiechtstärke von 2 und 3 mm keine signifikanten Unterschiede. Bei einer Keramikschiechtstärke von 4 mm zeigen sich signifikant bis höchst signifikant niedrigere Werte.

Duo Cement[®], eine Woche nach Polymerisation, Unterseite				
Lampe	Keramik	2 mm	3 mm	4 mm
Elipar TriLight [®]	2 mm (68,0)	-	ns	ns
	3 mm (67,5)	ns	-	ns
	4 mm (67,0)	ns	ns	-
crealight [®]	2 mm (64,5)	-	ns	*
	3 mm (63,0)	ns	-	ns
	4 mm (57,5)	*	ns	-
Elipar FreeLight 2 [®]	2 mm (65,0)	-	**	***
	3 mm (55,5)	**	-	***
	4 mm (35,0)	***	***	-

Tab. 36: U-Test nach Mann und Whitney, Aufschlüsselung der Signifikanzen
Befestigungsmaterial: Duo Cement[®]; Zeitpunkt der Messung: eine Woche nach Polymerisation durch eine Keramikschichtstärke von 2 mm, 3 mm und 4 mm;
Ort der Messung: Unterseite; Polymerisationslampen: Halogenlampe: Elipar TriLight[®], Plasmalampe: crealight[®], LED-Lampe: Elipar FreeLight 2[®]
 Der in Klammern angegebene Wert direkt hinter den Polymerisationslampen bezieht sich auf die Medianwerte der gemessenen Barcol-Härten einer Probenreihe (n=10).

Bei Polymerisation mit der Halogenlampe zeigen sich bei allen Keramikschichtstärken keine signifikanten Unterschiede.

Bei der Polymerisation mit der Plasmalampe zeigen sich bei einer Keramikschichtstärke von 2 und 3 mm keine signifikanten Unterschiede. Bei einer Keramikschichtstärke von 4 mm zeigen sich signifikant niedrigere Werte.

Bei Polymerisation mit der LED-Lampe zeigen sich bei allen Keramikschichtstärken sehr bis höchst signifikante Unterschiede.

6. Diskussion

6.1. Material und Methode

6.1.1. Auswahl der Lichtquellen für die Kompositpolymerisation

Um zu evaluieren, ob die Oberflächenhärte eines Befestigungskomposits von der verwendeten Lichtquelle und von der Dauer der Bestrahlung abhängt, werden drei in ihrer Lichtentstehung physikalisch unterschiedliche Polymerisationslampen ausgewählt. Die Prüfung der Eignung der weiter entwickelten Plasmalampen-Technologie sowie der neuen LED-Lampe der 2. Generation erfolgt durch den Vergleich mit der bewährten und etablierten Halogen-Lichtquelle, welche aktuell das Standard-Equipment in der Praxis darstellt. In einigen anderen Studien konnte bereits so nachgewiesen werden, dass die Polymerisationstiefe proportional zum Logarithmus der Lichtintensität und der Belichtungszeit steigt [*Chan und Boyer, 1989, Hofmann et al., 2000; Jung et al., 2006*].

Halogenlampen erreichen bei einer Belichtungszeit von 40 s und einer Lichtintensität von mindestens 400-800 mW/cm² eine ausreichende Polymerisationsqualität [*Rueggeberg et al., 1994; Munksgaard et al., 2000; Rasetto et al., 2001; Jung et al., 2001 und 2006; Uhl et al., 2003*] - auch bei Polymerisation durch keramische Restaurationen hindurch. Da dies als der „Goldstandard“ angesehen wird, wurde in dieser Studie ebenso eine Belichtungszeit von 40 s für die Halogenlampe gewählt. Die im Vergleich zu der Halogenlampe meist geringeren Werte der anderen Lampen basieren laut Literatur auf dem speziellen Spektrum der Plasma- und LED-Lampen, welche sehr hohe Intensitäten nur bei bestimmten Wellenlängen aufweisen, so dass der im Komposit enthaltene Initiator bei verkürzten Belichtungszeiten entgegen der Produktbeschreibung nicht aktiviert werden kann [*Jung et al., 2001 und 2006*].

Da eine Belichtungszeit von 3 s bei Plasmalampen oftmals zu einer unzureichenden Polymerisation führt [*Kook et al., 2002*] und es bei

Plasmalampen ebenso in einer Untersuchung von Jung et al. [Jung et al., 2001, 2003 und 2006] zu signifikant geringeren Härten bei der Polymerisation durch 2 mm dicke Keramik sowohl bei lichthärtenden als auch bei dualhärtenden Kompositen kam, wurde in dieser Studie die am Gerät größte einstellbare Belichtungsdauer von 10 s ausgewählt. Eine dem Halogenlicht vergleichbare Durchhärtungstiefe lässt sich, da die Lichtleistung das Produkt aus Zeit und Lichtintensität ist, somit nur mit einer Belichtungsdauer von 10 s durch die Plasmalampe erreichen, was zu einer Reduktion der Belichtungszeit auf 75 % im Vergleich zur Halogenlampe führt [Kook et al., 2002]. Auch Mueller et al. fanden eine insuffiziente Oberflächenhärte bei Plasmapolymersation von lichthärtendem Komposit durch eine Keramiksichtstärke von 3 mm bei geringster Belichtungsdauer [Mueller et al., 2004].

Die neuere LED-Technologie verspricht auf Grund ihres optimal an Campherchinon angepassten Lichtspektrums und ihrer gesteigerten Lichtintensität durch nur eine LED-Lampe eine Halbierung der Belichtungszeit auf 20 s bei gleicher Polymerisationsqualität. Dies galt es zu überprüfen und so wurde in dieser Studie eine Belichtungszeit von 20 s gemäß den Herstellerangaben für die LED-Lampe gewählt. In einer Studie von Mills [Mills et al., 2002] zeigte sich bereits, dass es bei einer Polymerisationszeit mit der Plasmalampe von 20 s zu einer suffizienten Oberflächenhärte im Vergleich zu einer Halogenlampe kam.

Hickel et al [Hickel et al, 1992] fanden bei LED-Mehrfachbelichtungen (drei Intervalle zu je 20 s) von Kompositen eine bessere Durchhärtung und einen niedrigeren Restmonomergehalt als bei einfachen Belichtungsintervallen. Andere Autoren haben übereinstimmend mindestens drei Polymerisationszyklen à 3 s empfohlen, um eine ausreichende Polymerisation zu gewährleisten [Burtscher et al. 2000; Hofmann et al., 2000; Peutzfeldt et al., 2000; Stoll et al., 2000; Rasetto et al., 2001, Ernst et al., 2002].

Eine Überprüfung des emittierten Lichtes der einzelnen Lampen erfolgte vor jeder Versuchsreihe mit einem Radiometer (crealight[®], Schütz, Dentalgroup; Rosbach). Nach Überprüfung der Lichtintensität der einzelnen Geräte mittels Radiometer wurde ein Variationsbereich von 700 bis 2260 mW/cm² deutlich. Für die Halogenlampe Elipar TriLight[®] ergaben sich konstante Werte von 800 mW/cm². Für die Plasmalampe crealight konnten Werte zwischen 2180 und

2260 mW/cm² und für die LED-Lampe Elipar FreeLight 2[®] Werte zwischen 700 und 800 mW/cm² gemessen werden. Die von den jeweiligen Herstellern angegebenen Lichtintensitäten von 800 mW/cm² für die Halogenlampe, von 2500 mW/cm² für die Plasmalampe und von ca. 1000 mW/cm² für die LED-Lampe wurden in der Überprüfung der Lichtintensität mit dem Radiometer nur teilweise bestätigt. Die Messungen der Lichtintensitäten in anderen Studien zeigten ebenso beachtliche Unterschiede zu den angegebenen Werten der Hersteller [Ernst et al., 2000 und 2002; Tsai et al., 2004; Jung et al., 2006].

Erklärbar ist dies durch die Tatsache, dass ein Radiometer nicht den Strahlenfluss des gesamten Austrittsfensters der Polymerisationslampe erfasst. Maßgeblicher Faktor stellt das Verhältnis der Fläche des Messensors zur Fläche des Lichtleiteraustrittsfensters des Lichtleiters dar [Thormann et al., 1992]. Unabhängig davon ist das Radiometer für den Zahnarzt das einzige Mittel, die Konstanz der Lichtintensität zu prüfen.

Aufgrund der Systemimmanenz der unterschiedlichen Lampen ist die Lichtintensität in Form der emittierten Lichtenergie nur bedingt miteinander vergleichbar. Dieses konnte bereits anhand einer Dauerbelastungsstudie von sieben verschiedenen Halogenlampen durch Ernst et al. [Thormann et al., 1992; Ernst et al., 1996] festgestellt werden. Jedoch kann anhand der gemessenen Oberflächenhärte festgestellt werden, dass durch die Verbesserung der LED-Technologie die LED-Polymerisationsgeräte eine interessante Alternative zu Halogengeräten darstellen [Mills et al., 1999 und 2002; Ozyesil et al., 2004].

6.1.2. Auswahl der Komposite

Die Anwendung vollkeramischer Restaurationen setzt den Einsatz von adhäsiven Befestigungskompositen voraus. Der Grund für die vorwiegende Verwendung von dualhärtenden Feinhybridkompositen liegt in der starken Abnahme der Konversion von rein lichthärtenden Kompositen bei Bestrahlung durch Keramik mit zunehmender Substanzdicke [Warren, 1990; Linden et al., 1991; Hickel et al., 1992; Möring, 2000; Jung et al., 2001].

Rein lichtaktivierte Komposite zeigen in mehreren Studien bei Polymerisation durch eine Keramikschiicht von ≥ 3 mm signifikant geringere Härtewerten [Warren, 1990; O'Meara et al., 2003; Mueller et al., 2004]. So sprechen Jung et al. [Jung et al., 2001, 2002 und 2006] eine Empfehlung zur Verwendung dualhärtender statt lichthärtender Zemente aus, da eine höhere Polymerisationstiefe und -härte erreicht wird. El-Badrawy et al. und Barghi et al. [El-Badrawy et al., 1995; Barghi et al., 2003] empfehlen lichtaktivierte Komposite nur für anteriore Veneers zu benutzen, da volumenstärkere posteriore Restaurationen nach einem dualhärtenden Komposit verlangen.

Der hohe Anteil von Amininen in dualhärtenden Kompositen zeigt eine Tendenz zum Nachdunkeln, was bei sehr dünnen Keramikrestaurationen wie den Veneers als deutlicher ästhetischer Nachteil anzusehen ist. Deshalb empfehlen einige Autoren diese mit rein lichthärtenden Kompositen adhäsiv zu zementieren [Warren, 1990; Linden et al., 1991; Möring, 2000; Jung et al., 2001 und 2006; Papazoglou et al., 2006].

In einer Studie von Bala et al. [Bala et al., 2005] zeigten sich die geringsten Härtewerte nach Polymerisation eines fließfähigen lichthärtenden Komposites durch LED- und Halogenlampen. Dieses wurde in erster Linie auf die Unterschiede in der Zusammensetzung der Matrix, der Füllergröße und dem Füllertyp zurückgeführt. Schon Hofmann, Asmussen und Peutzfeldt [Hofmann et al., 2000; Peutzfeldt et al., 2000; Asmussen et al., 2003] wiesen darauf hin, dass die mechanischen Eigenschaften der Befestigungskomposite durch Typ und Zusammensetzung der Matrix, den Füllertyp, den Füllergehalt und das Polymerisationsverfahren beeinflusst werden. Um die Beeinflussung dieser Parameter zu evaluieren, kommen in dieser Studie licht- und dualhärtende Befestigungskomposite vom Nano- und Feinhybridtyp mit einem hohen und niedrigen Füllstoffanteil, bei großer und kleiner Korngröße zu Anwendung, die jedoch alle den Photoinitiator Campherchinon beinhalten.

6.1.3. Auswahl der Keramik

Zur Simulation einer zahnfarbenen vollkeramischen Restauration in unterschiedlichen Stärken wurde in dieser Studie eine Aluminiumoxid-Glas-Keramik in der gebräuchlichen Farbe A3 gewählt. Das Gefüge von abgekühltem Aluminiumoxid liegt in einem geordneten kristallinen Zustand vor, so dass die Biegefestigkeit erhöht und die Rissbildung vermindert wird, während zum Beispiel die abgekühlte Schmelze von Siliciumdioxid eine amorph erstarrte Schmelze (Nonkristallisation) darstellt. Nachteilig hierbei ist jedoch die daraus resultierende Transluzenzminderung, bzw. die Opazitätserhöhung. Aus diesem Grund werden Aluminiumoxidkeramiken vorwiegend als Kernmasse (Hartkernmasse) verwendet und anschließend mit dental-keramischen Massen überschichtet.

Da in der einschlägigen Literatur aufgrund der mechanischen Eigenschaften der Keramiken für Inlays eine Mindestdicke von 1,5-2 mm gefordert wurde [Schmalz et al., 1994], wurden hier die unterschiedlichen Keramikschichtstärken von 2, 3 und 4 mm simuliert. Somit ist eine Simulation von Veneers im Frontzahnbereich aber auch eine von Einlagerrestauration im Seitenzahnbereich gewährleistet.

Keramikscheiben in verschiedenen Dicken sind in in-vitro Studien ein bewährtes Mittel zur Simulation einer okklusalen Restauration, um den Einfluss der Dicke der Keramik auf die Härte des polymerisierten Komposites zu ermitteln, da dies vorwiegend von der Farbe, der Opazität und der Schichtstärke der Keramik abhängt [Chan und Boyer, 1989; Warren, 1990; Linden et al., 1991; Hickel et al., 1992; Ernst et al., 1998; O'Meara et al., 2003] aber auch von der Polymerisationsmethode [Jung et al., 2006].

Blackman et al. [Blackman et al., 1990] wiesen eine Abhängigkeit der Härte des Befestigungskomposites von der Art und Stärke der verwendeten Keramik nach. Es zeigte sich zwischen der Härte des Befestigungsmaterials und der Keramikschichtstärke eine lineare Abhängigkeit [Hickel et al., 1992; Rasetto et al., 2001].

6.1.4. Herstellung der Prüfkörper

Um eine ausreichend dimensionierte Oberfläche zum mehrmaligen Messen zu erhalten und um eine Kongruenz zwischen dem Durchmesser des Lichtleiter und des Prüfkörpers zu gewährleisten, wurde ein Prüfkörper-Durchmesser von 9 mm gewählt. Als Probenhalter fungierte eine Teflonring mit einem Innerdurchmesser von 9 mm und einer Höhe von 3 mm. Gegenüber anderen Materialien geht Teflon weder einen Verbund mit dem Komposit ein, noch reflektiert es oder ist lichtdurchlässig. Um die Einheitlichkeit der Prüfkörper zu gewährleisten, wurde derselbe Teflonring verwendet. Der Gebrauch von Teflon wurde in mehreren Studien beschrieben [*Blackman et al., 1990; El-Badrawy et al., 1995; Rasetto et al., 2001; Bala et al., 2005*]. Zur Vermeidung einer Sauerstoffinhibitionsschicht, zur Erzielung einer glatten Oberfläche und zur Vermeidung eines Verbundes zwischen dem Komposit und der Keramikdeckplatte, wurde das Kompositmaterial auf der Ober- und Unterseite jeweils mit einem Cellophanstreifen abgedeckt und auf einer Glasplatte platziert. Dieses Verfahren ist in der einschlägigen Literatur anerkannt und wurde von zahlreichen Untersuchern verwendet [*Linden et al., 1991; Cardash et al., 1993; Ernst et al., 1996; Ernst et al., 1998; Ernst et al., 2000; Bala et al., 2005*].

6.1.5. Lagerung

Zur Ermittlung der Nachhärtung insbesondere bei den dualhärtenden Befestigungsmaterialien erfolgte eine Woche nach Polymerisation eine zweite Messung der Barcol-Härte an der Ober- und Unterseite. Mit dieser Vorgehensweise sollte geprüft werden, ob die Härtemessungen eine Woche nach Polymerisation höhere Werte im Vergleich zur ersten Messung direkt nach Polymerisation erreichen. Bis zum Zeitpunkt der zweiten Messung lagerten in dieser in vitro Studie die hergestellten Prüfkörper trocken und dunkel in einer handelsüblichen schwarzen Filmdose, wie bereits von Besek et al. [*Besek et al., 1995*], Ernst et al. [*Ernst et al., 1998*] und Linden et al. [*Linden et al., 1991*] beschrieben.

Eine einheitliche Vorgehensweise zur Lagerung von Kompositprüfkörpern lässt sich der Literatur nicht entnehmen. Um die Gegebenheiten des Mundmilieus zu simulieren ist die Lagerung von Kompositprüfkörpern bis zur erneuten Messung in isotonischer, steriler Kochsalzlösung bei 37°C ein anerkanntes Verfahren und wurde bereits in vielen Studien angewandt [Jandt et al., 2000, Munksgaard et al., 2000; Abate et al., 2001; Danesh et al., 2001; Mills et al., 2002; Asmussen et al., 2003]. Einerseits soll die Körpertemperatur und andererseits der Speichel nachgeahmt werden, um den Einfluss von Quellungseffekten und Hydrolyse auf das Kompositmaterial beurteilen zu können. In der vorliegenden Arbeit wurde auf eine eingehende Berücksichtigung dieser Parameter verzichtet und es wurde die alternative trockene, dunkle Lagerungsform gewählt, wie sie in anderen Untersuchungen zur Anwendung kam [Ernst et al., 1998; Ernst et al., 2000; Jung et al., 2006]. Es war ein signifikanter Härteanstieg nach einer Woche zu verzeichnen. Dieses stimmt mit der ausgewerteten Literatur besonders für die dualhärtenden Komposite überein [Besek et al., 1995; Ernst et al., 1998; Ernst et al., 2000].

Bei einem Vergleich der Messwerte nach trockener und dunkler Lagerung zeigte sich bei Untersuchungen von Ernst et al. [Ernst et al., 1998] durch den materialbedingten Nachhärtemechanismus eine Verdoppelung der Härte bereits nach zwei Tagen.

6.1.6. Härtemessverfahren

Nach Polymerisation der unterschiedlichen Befestigungsmaterialien durch die Keramik-Scheibe hindurch wurde im Anschluss direkt die Oberflächenhärte nach Barcol an der jeweiligen Ober- und Unterseite überprüft. Eine ausreichende Härte an der lichtzugewandten Fläche lässt keinen Rückschluss auf eine adäquate Härte an der lichtabgewandten Seite des Befestigungsmaterials zu [Bala et al., 2005]. Aus diesem Grund wurden auch Messungen an der Unterseite des Kompositprüfkörpers vorgenommen. Zur Beurteilung der Härte der Oberfläche eines Komposites sind quantitative Angaben, wie die Konversionsrate notwendig. Sie beschreibt den Prozentsatz aller Doppelbindungen in einem Komposit, welche bei der Polymerisation

umgesetzt werden [Lutz et al., 1992; Peutzfeldt, 1994]. Eine hohe Konversionsrate an der Oberfläche, die durch eine ausreichende Lichtenergie erzeugt werden kann, ist mit einer hohen Härte gleichzusetzen. Eine geringere Härte ist demzufolge an der Unterseite, durch geringere Lichtintensität aufgrund der Absorption zu erwarten [Peutzfeldt et al., 2000; Asmussen et al., 2003]. Da die genaue Analyse der Konversion komplex ist, wird auf die Oberflächenhärte eines Komposites, welche erheblich leichter zu evaluieren ist, zurückgegriffen [Baharav et al., 1988; Wassell et al., 1992; Abate et al., 2001; Hofmann et al.; 2001; Burgess et al., 2002; Mills et al., 2002; Uhl et al., 2003; Tsai et al., 2004; Bala et al., 2005; Jung et al., 2006]. Der direkte Vergleich von zwei Materialien ist jedoch limitiert, da das Härtemessverfahren nicht nur alleine mit der Konversionsrate korreliert, sondern auch mit den Eigenschaften (Fülleranteil, Korngröße) des Komposites [Linden et al., 1991; Bouschlicher et al., 2004].

Das Barcol-Härtemessgerät ist laut Herstellerangaben zur Prüfung der Härte von weichen Metallen wie Aluminium, Messing, Kupfer, Fieberglas, Komposit, Gummi und Leder geeignet. Abate et al. [Abate et al., 2001] untersuchten verschiedene Komposite und Zemente, während andere Autoren [Mills et al., 2002; Bala et al., 2005] verschiedene Polymerisationsverfahren mit Hilfe der Barcol-Härte verglichen.

Die Vorteile des Barcol-Härtemessverfahrens liegen sowohl in der einfachen Handhabung, als auch in der guten Reproduzierbarkeit der Messdaten. Die gemessene Härte kann ohne großen apparativen Aufwand direkt am Gerät ohne Zeitverzögerung abgelesen werden, eine Vorbehandlung des zu messenden Gegenstandes entfällt. Die Prüfung erfolgt zudem zerstörungsfrei. Diverse Studien beschäftigten sich mit dem Vergleich von Härtemessverfahren. Es konnte festgestellt werden, dass schon bei geringen Unterschieden in den Messwerten (2,1 Barcol-Härten) ein höchst signifikanter Unterschied besteht, wodurch sich verschiedene Komposite oder Polymerisationsverfahren sehr gut miteinander vergleichen lassen [Chung, 1989].

6.2. Ergebnisse

6.2.1. Einfluss des Polymerisationsverfahrens

Aufgrund der großen Streubreite der Ergebnisse der unterschiedlichen Polymerisationsverfahren lässt sich keine eindeutige Aussage zum besten Verfahren treffen. Vielmehr kann gesagt werden, dass der Grad der Polymerisation multifaktoriell bedingt zu sein scheint. Als wichtigste Parameter sind hier die Lichtintensität und das Wellenlängenspektrum in Abhängigkeit von der Belichtungsdauer und dem jeweiligen Verfahren zu nennen. Die Betrachtung der Ergebnisse unmittelbar nach Polymerisation zeigt, dass mit der Halogenlampe (800 mW/cm², 380-520 nm, 40 s) meist höhere Barcol-Härten an der Ober- und besonders an der Unterseite der Komposit-Prüfkörper erzielt werden konnten, als mit der Plasma- (2500 mW/cm², 450-500 nm, 10 s) und der LED-Lampe (1000 mW/cm², 450-490 nm, 20 s).

Die Frage, ob die vorliegenden Ergebnisse darauf hinweisen, dass die Plasma- oder LED-Polymerisation eine bessere Nachhärtung von Befestigungskompositen an der Ober- und Unterseite eine Woche nach Polymerisation erzeugen als die Halogenpolymerisation lässt sich mit dem vorliegenden Versuchsansatz nicht klären, da einerseits die Nachhärtung der unterschiedlichen Befestigungsmaterialien zum Tragen kommt und andererseits nur die initialen Härte-Werte direkt nach Polymerisation bestimmt wurden.

Die in der Zielsetzung formulierte Hypothese:

- 1. Die Wahl des Polymerisationsverfahrens (Halogen-, Plasma-, LED-Licht) hat einen Einfluss auf den Grad der Polymerisation – indirekt gemessen als Barcol-Härte an der Oberfläche des Komposits**

kann bestätigt werden.

6.2 2. Einfluss der Keramikschichtstärke

Hinsichtlich der Keramikschichtstärken von 2 mm, 3 mm und 4 mm lässt sich abschließend sagen, dass es bei einer Zunahme der Schichtstärke meist zu einer Abnahme der Barcol-Härten des Befestigungskomposites gekommen ist. Ursächlich hierfür ist, dass weniger Polymerisationslicht das Komposit erreicht und so die lichtabhängige Polymerisation nur bedingt stattfinden kann. Die gemessenen Härten an der Ober- und Unterseite direkt nach Polymerisation durch eine Keramikschichtstärke von 2 mm zeigen fast immer einen signifikant höheren Wert als bei einer Schichtstärke von 3 mm bzw. 4 mm bei allen verwendeten Kompositen und Polymerisationsverfahren. Besonders deutlich wird dies auch bei einem Vergleich der Härte-Werte mit den Referenzwerten. Sie zeigen direkt nach Polymerisation ohne Keramikprüfkörper signifikant höhere Werte an der Ober- und Unterseite.

Die Tatsache, dass die totale Transmission - die am Komposit ankommende Lichtmenge inklusive Streustrahlung - bei Zunahme der Keramikschichtstärke um ein Vielfaches herabgesetzt wird, macht die Ergebnisse dieser Studie verständlich. Die Zusammensetzung der Keramik spielt hierbei eine entscheidende Rolle und beeinflusst den Polymerisationsgrad entscheidend. Jedoch scheint primär die Durchhärtetiefe von der Dicke und der Farbe der Keramik abhängig zu sein, da es bei Zunahme der Keramikschichtstärke zu einer gesteigerten Lichtabsorption und einer Verminderung der Transluzenz und somit auch zu einer Erhöhung der Opazität kommt, was letztlich zu einer Abnahme der Härte der Komposite an der Ober- und besonders an der Unterseite führt.

Die in der Zielsetzung formulierte Hypothese:

- 2. Die Dicke der zu durchstrahlenden Keramikschicht hat einen Einfluss auf die Oberflächenhärte des Komposits**

kann daher bestätigt werden.

6.2.3. Einfluss des Befestigungsmaterials

Bekannt ist, dass die mechanischen Eigenschaften der Befestigungskomposite durch den Typ und die Zusammensetzung der Matrix, dem Füllertyp, dem Füllergehalt und dem Polymerisationsverfahren beeinflusst werden. Einerseits wird dies durch die durchgängig geringeren Werte des lichthärtenden Komposites Ambarino Flow[®] gegenüber denen der dualhärtenden Komposite deutlich. Andererseits zeigt es sich bei dem dualhärtenden Material RelyX Unicem[®]: durch fehlende Aushärtung oder Brechen der Proben nach Polymerisation mittels Plasmalampe durch Keramikschichtstärken von 3 und 4 mm ist es zu keinem messbaren Ergebnis direkt nach Polymerisation gekommen.

Der höhere Füllergehalt von 71 und 72 Gew.% in den dualhärtenden Befestigungskompositen gegenüber 55 Gew.% bei dem lichthärtenden Komposit und die Fähigkeit die initiale Lichthärtung chemisch zu ergänzen, schlägt sich in einem besseren Härteprofil direkt nach Polymerisation und noch deutlicher eine Woche später an der Ober- und Unterseite nieder. Dieses zeigt sich besonders bei RelyX Unicem[®]. Ebenso beeinflussen Art und Größe der Füllkörper die Transluzenz der Komposite und haben einen Einfluss auf die Durchdringtiefe und Streuung des Lichtes, da kleine Füller mehr Licht streuen als große. Dies erklärt die meist geringeren Werte bei RelyX Unicem[®] (7,5 µm Korngröße) an der Unterseite direkt nach Polymerisation im Vergleich zu Duo Cement[®].

Die in der Zielsetzung formulierte Hypothese:

- 3. Die Wahl des Befestigungsmaterials bezüglich Polymerisationstyp (licht- oder dualhärtend) hat einen Einfluss auf die Polymerisation – indirekt gemessen als Barcol-Härte an der Oberfläche des Komposits**

kann bestätigt werden.

6.3. Abschließende Wertung der Ergebnisse

Die Auswertung der Literatur zeigt, dass sich mehrere Studien auf die Verwendung von verschiedenen licht- oder dualhärtenden Befestigungskompositen in sehr dünnen Schichtstärken bei geringen Keramikschichtstärken beziehen. Diese Situation spiegelt sich jedoch selten - nur in Idealfällen - in der Praxis wieder. Meist soll eine okklusale Füllung simuliert werden [Hickel et al., 1992; Ernst et al., 1998; Ozyesil et al., 2004; Jung et al., 2001 und 2006; Papazoglou et al., 2006]. Hier zeigt sich, dass das adhäsive Befestigen keramischer Restaurationen bis einschließlich 3 mm mit lichthärtenden Kompositen unabhängig vom Polymerisationsverfahren möglich ist [Hickel et al., 1992; Ernst et al., 1998; O'Meara et al., 2003; Mueller et al., 2004]. Ab einer Keramikschichtstärke > 3 mm zeigen die dualhärtenden Komposite größere Härteprofile, welche durch Polymerisation von Halogen- oder LED-Lichtgeräten erreicht werden [Jung et al., 2001, 2002 und 2006].

In der vorliegenden Studie sollten eventuell auftretende untersichgehende Bereiche in der Kavitätenwand, am Kavitätenboden oder im approximalen Kasten simuliert werden, um eine besonders kritische Stelle zu untersuchen. Demzufolge bedarf es in Einzelfällen einer viel dickeren Kompositenschicht zur adhäsiven Befestigung unterschiedlicher Keramikdicken, welche eine ausreichende Polymerisation zum langlebigen, stabilen, randdichten Verbund zwischen Restaurationen und Zahnhartsubstanz benötigt. Es galt das Härteprofil nicht nur an der lichtzu- sondern auch an der abgewandten Seite der 3 mm starken Kompositprüfkörper zu überprüfen. Des Weiteren sollte das Nachhärtepotential der licht- und dualhärtenden Befestigungskomposite eine Woche nach Polymerisation mittels verschiedener Verfahren durch unterschiedliche Keramikschichtstärken (2, 3 und 4 mm) evaluiert werden.

In der vorliegenden Studie konnte bestätigt werden, dass sowohl die Wahl des Polymerisationsverfahrens, die Dicke der zu durchstrahlenden Keramikschichtstärke, als auch die Wahl des Befestigungsmaterials einen Einfluss auf das Härteprofil des Befestigungskomposites hat.

Prinzipiell besteht eine Abhängigkeit zwischen der Lichtdurchlässigkeit der Restauration, die unter anderem durch die Schichtdicke und die Farbe der jeweiligen Keramik bestimmt wird, und der Lichtintensität, die noch zur

Polymerisation des Komposites an der Basis der Restauration zur Verfügung steht. Die Lichtintensität ist wiederum abhängig von der Lichtleistung und der Bestrahlungsdauer des jeweiligen Polymerisationsverfahrens [Blackman et al., 1990; Warren et al., 1990; Hickel et al., 1992; Besek et al., 1995; Ernst et al., 1998; Munksgaard et al., 2000; Peutzfeldt et al., 2000; Rasetto et al., 2001; Asmussen et al., 2003]. Die Nachteile der zu geringen Belichtungsdauer der Plasmalampe trotz hoher Lichtintensität spiegeln sich in einer signifikant verminderten Härte und damit verminderte Konversionsrate der Proben im Vergleich zu den anderen Polymerisationsverfahren wieder [Munksgaard et al., 2000; Danesh et al., 2001; Jung et al., 2001; Ernst, 2002, Tanioli et al., 2002]. Besonders deutlich wird dies bei Zunahme der Keramikschichtstärke. Die empfohlene Polymerisationszeit des Herstellers scheint nicht auszureichen.

Aufgrund der differierenden Materialeigenschaften (Zusammensetzung und Struktur der Matrix, Fülleranteil, Füllergröße) ist nicht jedes adhäsive Befestigungssystem grundsätzlich zum Zementieren von unterschiedlich starken Keramikrestaurationen geeignet. Wegen der materialbedingten limitierten Durchhärtetiefe des rein lichthärtenden Komposites Ambarino Flow[®] sollte eine Schichtstärke der Keramik von 3 mm nicht überschritten werden, dies deckt sich mit der Literatur. Bei den dualhärtenden Kompositen führen die photosensiblen und chemischen Initiatoren auch bei einer Keramikschichtstärke ≥ 3 mm zu einer sicheren Aushärtung, speziell in Bereichen, die mit dem Polymerisationslicht nur unzureichend oder gar nicht erreichbar sind [Lutz et al., 1992; Peutzfeldt et al., 1995; Ernst et al., 1998].

Positiv an dieser Materialklasse ist zudem die initiale Fluoridabgabe [3M Espe, 2003]. Nachteilig ist ihre Tendenz zum Nachdunkeln aufgrund der gelblichen Eigenfarbe des Initiators Campherchinon, welcher eine hohe Tendenz zum Nachdunkeln aufweist, was besonders bei Frontzahnveneers auffällig wird [Linden et al., 1991; Hofmann et al., 2001 und 2002; Möring, 2000; Jung et al., 2001 und 2006; Papazoglou et al., 2006; Schroeder et al., 2007].

6.4. Klinische Schlussfolgerung

In der vorliegenden Studie konnte gezeigt werden, dass die Anwendung einer Plasmalampe mit einer Belichtungszeit von 10 s zur Polymerisation von Befestigungsmaterialien durch Keramik weder die Härtewerte einer LED-Lampe nach 20 s Belichtungszeit, noch die einer Halogenlampe nach 40 s Belichtungszeit erreicht. Die Plasmalampe weist neben ihrer verkürzten Polymerisationszeit außerdem keine gute Kosten-Nutzen-Relation auf.

Die LED-Technologie der 2. Generation zum adhäsiven Befestigen von Keramikrestorationen erreicht schon nach relativ kurzer Entwicklung eine ähnliche Qualität wie die Halogenlampen. Die Verkürzung der Polymerisationszeit auf 20 s sowie der kabel- und geräuschlose Einsatz bieten klare Vorteile im klinischen Alltag. Aus diesem Grund ist die LED-Technologie ein zukunftsweisendes Verfahren.

Die konventionelle Halogenlichtpolymerisation liefert nach wie vor unabhängig von der zu durchstrahlenden Keramikschichtstärke und dem verwendeten Befestigungsmaterial die größten Barcol-Härten. Im Vergleich zu der Plasma- und der LED-Lampe werden auch höhere Endhärten gemessen. Somit ist derzeit die Halogenlicht-Technologie für den Praktiker trotz einer Polymerisationszeit von 40 s das wohl am besten geeignete Verfahren für die adhäsive Befestigung von Keramikrestorationen, um eine hohe Qualität zu gewährleisten.

Hinsichtlich der Keramik ist anzumerken, dass es bei einer Schichtdicke ≥ 3 mm nur durch dualhärtende Zemente zu einer ausreichenden Härte an der lichtabgewandten Seite, in Einzelfällen auch nur durch die sekundäre chemische Nachhärtung, kommt. Dieses Ergebnis ist besonders bei der Zementierung von Restaurationen mit tiefen approximalen Kästen von Wichtigkeit.

Bedingt durch geringe Härtewerte der rein lichtsensiblen Komposite direkt nach Polymerisation, die mangelnde chemische Nachhärtung und den Vorteil der Farbstabilität ist die Verwendung dieser Komposite in der Veneer-Technik bis 2 mm Keramikschichtstärke zu suchen.

7. Zusammenfassungen

7.1. Zusammenfassung für das Rigorosum

Einleitung: Keramische Restaurationen mit licht- oder dualhärtenden Befestigungskompositen adhäsiv zu zementieren stellt in der Zahnmedizin eine gängige Technik dar. Neben konventionellen Halogenlampen sind neuere Geräte wie Plasma- und LED-Lampen (Light Emitting Diodes) zur Polymerisation in Gebrauch. Allen gemein ist die Generierung blauen Lichtes in einem Wellenlängenbereich von 400-490 nm. Der in den meisten Kompositen enthaltenen Photoinitiator Campherchinon wird bei einem Absorptionsmaximum von 468 nm optimal angeregt, um somit den Polymerisationszyklus zu starten.

Literatur: Die Aushärtung eines Befestigungskomposites ist nicht nur von der Lichtintensität und der Belichtungszeit der verwendeten Polymerisationslampe abhängig, sondern auch von der Schichtstärke des Komposites und der zu durchstrahlenden keramischen Restauration. Des Weiteren haben auch Farbe, Opazität und Zusammensetzung einer Keramik einen Einfluss auf die Konversionsrate eines Komposits. Hinsichtlich der Durchhärtetiefe und insbesondere aufgrund des guten Nachhärtepotentials scheinen dualhärtende Befestigungskomposite zur adhäsiven Zementierung, besonders bei einer Schichtstärke ≥ 3 mm besser geeignet zu sein. Zum Befestigen von dünnen Restaurationen bis 2 mm sind rein lichthärtende Komposite bei ausreichender Belichtungszeit gut geeignet. Der Entwicklung neuer Technologien und dem stetigen Wunsch nach Optimierung der Arbeitsprozesse folgt die Frage nach einer effizienten Geräte- und Materialauswahl. **Ziel:** Vergleich des Einflusses von Polymerisationsverfahren auf Befestigungskomposite anhand von Härteprofilen nach Polymerisation durch Keramik hindurch. **Arbeitshypothesen:** Die Wahl des Polymerisationsverfahrens hat einen Einfluss auf den Grad der Polymerisation. Die Dicke der zu durchstrahlenden Keramiksicht hat einen Einfluss auf die Oberflächenhärte des Komposits. Die Wahl des Befestigungsmaterials bezüglich Polymerisationstyp hat einen Einfluss auf die Polymerisation. **Material&Methode:** Für die Studie wurden mit Hilfe einer individuell gefrästen, verbundresistenten Teflonscheibe

Kompositprüfkörper mit den Abmessungen von 3mm x 9mm Ø hergestellt. Zur Vermeidung eines Verbundes zwischen Komposit und Keramik, wurde je auf der Ober- und Unterseite ein Cellophanstreifen plaziert. Als Befestigungsmaterialien wurden das lighthärtende fließfähige Nano-Hybrid-Komposit Ambarino Flow[®], die dualhärtenden Komposite RelyX Unicem[®] und das Fein-Hybrid-Komposit Duo Cement plus[®], alle in der Farbe A3 verwendet. Die Simulation einer Keramikrestauration erfolgte durch Auflegen einer 2, 3 und 4mm starken Keramikscheibe der Aluminiumoxid-Keramik Nuance 750[®] in der Farbe A3 mit einer Größe von 9x9mm. Es wurden jeweils 90 Prüfkörper mit der konventionellen Halogenlampe Elipar TriLight[®] für 40 s, 90 Prüfkörper mit der Plasmalampe *crealight*[®] für 10 s und 90 Prüfkörper mit der LED-Lampe Elipar FreeLight 2[®] für 20 s polymerisiert. Somit entstanden pro Polymerisationslampe neun Versuchsgruppen in der die drei Befestigungsmaterialien jeweils durch 2, 3 und 4mm dicke Keramikscheiben hindurch ausgehärtet wurden. Bei einer Anzahl von 10 Proben pro Versuchsgruppe entstanden insgesamt 270 zu untersuchende Kompositprüfkörper. Direkt nach Polymerisation und eine Woche später erfolgte zentral an der Ober- und Unterseite eine Härtemessung. Hierzu wurde das statistische Prüfverfahren der Barcol-Härte genutzt. Zur Messung der Nachhärtung unter Lichtausschluss der verwendeten Komposite dienten zur einwöchigen, trockenen Lagerung bei Raumtemperatur handelsübliche Filmdosen. Die ermittelten Messdaten wurden mit dem Statistikprogramm SPSS 12.01 unter zur Hilfenahme des U-Test nach Mann und Whitney ausgewertet. Berücksichtigt wurden die Einflussgrößen: Polymerisationsverfahren, Keramikschiebstärke, Befestigungsmaterial, Lagerungsdauer und Materialseite. **Ergebnisse:** Bei Verwendung des dualhärtenden Komposites RelyX Unicem[®] zeigten die ermittelten Barcol-Härtewerte direkt nach Polymerisation an der Oberseite mit der Halogenlampe keine signifikanten Unterschiede bei einer Keramikschiebstärke von 2 und 3 mm, jedoch signifikant niedrigere Werte bei einer Keramikschiebstärke von 4 mm. Die Plasma- und LED-Lampe wiesen keine signifikanten Unterschiede in Bezug auf die Keramikschiebstärken auf. Direkt nach Polymerisation mit der Halogenlampe zeigten sich mit zunehmender Keramikschiebstärke höchst signifikante Unterschiede an der Unterseite. Zu der Plasmalampe konnte kein Vergleich erfolgen, da es durch unvollständiges Aushärten oder Brechen der

Proben zu keinen messbaren Härtewerten kam. Bei der Polymerisation mit der LED-Lampe zeigten sich bei allen Keramikschichtstärken keine signifikanten Unterschiede. Die geringsten Barcol-Härten an der Oberseite erzielte die Plasmalampe. Die Halogen- und LED-Lampe lieferten im Vergleich dazu konstant höhere Werte. An der Unterseite zeigte die LED-Lampe konstante, aber geringere Härten als die Halogenlampe. Bezüglich der Nachhärtung kam es zu einem höchst signifikanten Anstieg der Barcol-Härten an der Ober- und Unterseite bei RelyX Unicem[®] eine Woche nach Polymerisation bei allen drei Lampen. Bei Verwendung des lighthärtenden Komposites Ambarino Flow[®] zeigten die ermittelten Barcol-Härten direkt nach Polymerisation an der Oberseite mit der Halogen- und LED-Lampe eine signifikante Abnahme von 2 auf 4 mm. Es konnten keine signifikanten Unterschiede bei der Plasmalampe bei Zunahme der Keramikschichtstärke gemessen werden. Bei Polymerisation mit allen drei Lampen zeigten sich an der Unterseite der Prüfkörper signifikante geringere Barcol-Härten bei zunehmender Keramikschichtstärke. Die Barcol-Härten an der Oberseite wiesen bei allen drei Lampen ähnlich hohe Werte auf. Obwohl das Ambarino Flow[®] kein dualhärtendes Komposit ist, konnte eine Nachhärtung an der Ober- und Unterseite eine Woche nach Lighthärtung unabhängig des Verfahrens gemessen werden. Bei Verwendung des dualhärtenden Komposites Duo Cement[®] zeigten sich bei der Halogen- und Plasmalampe direkt nach Polymerisation keine signifikante Verminderung bei zunehmender Keramikschichtstärke. Anders bei der LED-Lampe, hier zeigte sich eine höchst signifikante Minderung der Barcol-Härten bei Zunahme der Schichtdicke. An der gemessenen Unterseite konnten keine signifikanten Unterschiede direkt nach Polymerisation durch die Halogen- und Plasmalampe bei 2 und 3 mm Keramikdicke ermittelt werden, eine sehr signifikante Abnahme der Werte bestand bei 4 mm. Bei Polymerisation mit der LED-Lampe zeigte sich bei steigender Keramikschichtstärke eine höchst signifikante Abnahme der Barcol-Härte an der Unterseite. Bei der Halogen- und Plasmalampe zeigten sich im Vergleich zu der LED-Lampe konstant höhere Barcol-Härten an der Ober- und Unterseite. An der Unterseite kam es bei LED-Polymerisation zu einer sukzessiven Härteabnahme bei Keramikschichtzunahme. Bei allen getesteten Lampen kam es an der Ober- und Unterseite eine Woche nach Polymerisation zu einer signifikanten Erhöhung der Barcol-Härten.

Diskussion&Schlussfolgerung: In dieser Studie wurde der Polymerisationsgrad der Befestigungskomposite anhand der Oberflächenhärte überprüft, um zu zeigen welche Auswirkungen das Polymerisationsverfahren und die Wahl des Befestigungsmaterials auf die Härte der lichtzu- und abgewandten Seite direkt und eine Woche nach Polymerisation durch unterschiedliche Keramikdicken haben. Die hierzu ausgewählte Barcol-Härte ist ein anerkanntes Verfahren um Komposite oder Polymerisationsverfahren miteinander zu vergleichen. Die einwöchige trockene und dunkle Lagerung wurde gewählt, um einerseits den Einfluss eines Quellungseffekts durch feuchte Lagerung und andererseits die rein chemisch bedingte Nachhärtung zu evaluieren. Im Hinblick auf die zum Polymerisationsverfahren vorliegende Literatur würde man erwarten, dass in Abhängigkeit von der Keramikschichtstärke LED-Lampen äquivalente Härteprofile wie Halogenlampen zeigen, Plasmalampen die geringsten. In Bezug auf Befestigungskomposite sollten Dualhärtende bei Zunahme der Keramikschichtstärke (≥ 3 mm) deutlich höhere Härtewerte erzielen als rein Lichthärtende. In der Studie konnte gezeigt werden, dass adhäsives Befestigen keramischer Restaurationen abhängig vom Polymerisationsverfahren, der Keramikdicke, der Art und Schichtdicke des Befestigungskomposites ist. Die Halogenlampe erzielte die größten Barcol-Härten, geringere aber vergleichbare Werte konnten durch die LED-Lampe an der Oberseite, nicht jedoch an der Unterseite erreicht werden. Die Plasmalampe zeigte trotz dreifacher Belichtungszeit die geringsten Härten. Eine Ausnahme stellt hier das Komposit Duo Cement[®] dar, welches geringere Werte bei der LED und höhere bei der Plasmalampe erzielte. Alle Befestigungsmaterialien erzielten an der Oberfläche bei einer Keramikschichtstärke von 2 mm gute Ergebnisse. Bei zunehmender Keramikschichtstärke zeigten sich signifikante Unterschiede bezüglich der Barcol-Härten bei allen Polymerisationsverfahren. Demzufolge sollte das adhäsive Befestigen keramischer Restaurationen ab einer Schichtstärke von ≥ 3 mm mit dualhärtenden Kompositen aufgrund ihres Nachhärtepotentials erfolgen. Insgesamt konnte ein Einfluss des Polymerisationsverfahrens hinsichtlich Lichtintensität und Belichtungsdauer auf die Härte- und Nachhärteprofile von licht- und dualhärtenden Befestigungskompositen nach Polymerisation durch unterschiedliche Keramikschichtstärken gezeigt werden.

7.2. Zusammenfassung - Marburger Bibliographie

In-vitro Untersuchung zum Einfluss des Polymerisationsverfahrens auf die Härte von Befestigungsmaterialien nach Polymerisation durch Keramik hindurch

M. Jeromin

Zum adhäsiven Zementieren keramischer Restaurationen werden licht- oder dualhärtende Komposite verwendet. Zur Polymerisation finden neben konventionellen Halogenlampen, Plasma- und LED-Lampen Verwendung, die eine Verkürzung der Belichtungszeit versprechen. Alle Lampen generieren im Wellenlängenspektrum des blauen Lichtes, welches den im Komposit enthaltenen Photoinitiator Campherchinon anregt und die Polymerisationsreaktion startet. Weitere beeinflussende Faktoren stellen Dicke, Art und Farbe der keramischen Restauration dar. Ziel der vorliegenden Studie war es, den Einfluss des Polymerisationsverfahrens und den der Keramikschichtstärke auf die Oberflächenhärte von licht- und dualhärtenden Befestigungskompositen zu untersuchen. Für die Studie wurden 270 Komposit-Prüfkörper (3x9mmØ) hergestellt, wovon jeweils 90 mit einer Halogenlampe (Elipar TriLight[®], 40s), einer Plasmalampe (crealight[®], 10s) und einer LED-Lampe (Elipar FreeLight[®], 20s) nach Auflegen der Aluminium-Oxid-Glas-Keramik (Nuance 750[®]) in den Schichtstärken 2, 3 und 4mm polymerisiert wurden. Als dualhärtende Befestigungskomposite wurden RelyX Unicem[®] und Duo Cement[®], als lichthärtendes Komposit Ambarino Flow[®] verwendet (n=10). Die Messung der Barcol-Härte erfolgte direkt nach Polymerisation und nach einwöchiger trockener, dunkler Lagerung an der Ober- und Unterseite des Prüfkörpers. Die größten Barcol-Härten erzielte die Halogenlampe, geringere aber vergleichbare Werte wurden durch die LED-Lampe an der Oberseite nicht jedoch an der Unterseite erreicht. Trotz dreifacher Belichtungszeit zeigte die Plasmalampe die geringsten Härten. Bei 2mm Keramikschichtstärke erzielten alle Befestigungsmaterialien an der Oberfläche gute Ergebnisse, ab 3mm resultierten höhere Werte durch die dualhärtenden Komposite. Bei zunehmender Keramik- und Kompositschichtstärke zeigten sich signifikante Unterschiede bezüglich der Barcol-Härten bei allen Polymerisationsverfahren.

7.3. Zusammenfassung – Abstrakt (deutsch)

In-vitro Untersuchung zum Einfluss des Polymerisationsverfahrens auf die Härte von Befestigungsmaterialien nach Polymerisation durch Keramik hindurch.

M. Jeromin

Ziel dieser Studie ist, die Barcol-Härte von licht- und dualhärtenden Befestigungskompositen unter verschiedenen Keramikschichtstärken nach Polymerisation mit drei Verfahren zu ermitteln. Je 90 Prüfkörper (9x3 mm Ø, Farbe A3) aus RelyX Unicem[®], Ambarino Flow[®] und Duo Cement plus[®] wurden mittels Halogenlicht (Elipar TriLight[®], 40s), Plasma-(crealight[®], 10s) und LED-Licht (Elipar FreeLight 2[®], 20s) durch eine Aluminiumoxid-Keramik-Scheibe (Nuance 750[®]) (9x9x2/3/4 mm, A3) hindurch polymerisiert. Die Härtemessung an Ober- und Unterseite erfolgte direkt im Anschluss und eine Woche später nach trockener, dunkler Lagerung. Die höchsten Barcol-Härten erzielte die Halogenlampe, geringere aber vergleichbare Werte wurden durch die LED-Lampe an der Oberseite nicht jedoch an der Unterseite erreicht. Trotz dreifacher Belichtungszeit zeigte die Plasmalampe die geringsten Härten. Bei 2mm Keramikschichtstärke erzielten alle Befestigungsmaterialien an der Oberfläche gute Ergebnisse, ab 3mm resultierten höhere Werte bei den dualhärtenden Kompositen. Es zeigte sich ein Einfluss des Polymerisationsverfahrens hinsichtlich Lichtintensität und Belichtungsdauer auf die Härte- und Nachhärteprofile licht- und dualhärtender Befestigungskomposite nach Polymerisation durch unterschiedliche Keramikschichtstärken. Demzufolge sollte das adhäsive Befestigen keramischer Restaurationen ab einer Schichtstärke ≥ 3 mm mit dualhärtenden Kompositen erfolgen.

7.4. Zusammenfassung – Abstract (englisch)

In vitro comparison of resin hardness due to different polymerisation-methods through ceramic

M. Jeromin

This in vitro study compares the polymerisation hardness of light- and dual cured resin cements under different thicknesses of ceramic using variety light sources. Each 90 specimen (9x3mm Ø, A3) using RelyX Unicem[®], Ambarino Flow[®] and Duo Cement plus[®] cured under aluminiumoxid-ceramic (Nuance 750[®]) (9x9x2/3/4mm, A3) by halogen (Elipar TriLight[®], for 40s), plasma arc (crealight[®], for 10s) and light emitting diode (LED) (Elipar FreeLight 2[®], for 20s) curing units. The degree of polymerisation was determined by measuring microhardness (Barcol) directly after curing and one week after storage in dark. Highest surface hardness was recorded using halogen curing unit, lower but similar values were shown at the top by using the LED unit. The plasma lamp represented lowest microhardness in all samples. All resin cements registered adequate Barcol-hardness cured under 2mm of aluminumoxid ceramic, using increasing ceramic thickness dual cured resin cements showed significant ($p \leq 0.05$) higher values compared to the light cured resin. All polymerisation methods presented significant ($p \leq 0.05$) differences using increasing ceramic thickness. There is considerable influence depending on the polymerisation method, using different light intensities and time periods, regarding the microhardness after curing of light and dual resin cements through ceramics. Therefore adhesive fixing of ceramics beyond 3mm, dual curing cement should be used.

8. Literaturverzeichnis

Abate, P. F., Zahra, V. N.; Macchi, R. L.

Effect of Photopolymerization variables on composite hardness
J Prosthet Dent 86, 632-635 (2001)

Asmussen, E.; Peutzfeldt, A.

Polymer structure of a light-cured resin composite in relation to distance from the surface
Eur J Oral Sci 111, 277-279 (2003)

Bärwald, R.

In-vitro Untersuchungen zum Vergleich von Polymerisationsverfahren anhand von Härteprofilen
Zahnmedizinische Dissertation, Marburg (2005)

Bärwald, R.; Sonntag, D.; Kook, K.; Stachniss, V.

In-vitro-Untersuchung zum Vergleich von Polymerisationsverfahren anhand von Härteprofilen
DZZ 61, 456-465 (2006)

Baharav, H.; Abraham, D.; Cardash, H. S.; Helft, M.

Effect of exposure time on the depth of polymerization of a visible light-cured composite resin
J Oral Rehabil 15, 167-172 (1988)

Bala, O.; Üctasli, M. B.; Tüz, M. A.

Barcoll hardness of different resin-based composites cured by halogen or light emitting diode (LED)
Oper Dent 30, 69-74 (2005)

Benz, C.; Maschinski, G. et al.

Lexikon Zahnmedizin Zahntechnik
Urban & Fischer (Hrsg.), München (2000)

Besek, M.; Mörmann, W. H.; Persi, C.; Lutz, F.

Die Aushärtung von Komposit unter Cerec-Inlays
Schweiz Monatsschr Zahnmed 105, 1123-1128 (1995)

Blackman, R.; Barghi, N.; Duke, E.

Influence of ceramic thickness on the polymerization of light-cured resin cement
J Prosthet Dent 63, 295-300 (1990)

Bouschlicher, M.; Heiner, A.

Polymerization shrinkage force with xenon short arc or QTH photoillumination
J Dent Res 80, Abstr. Nr. 1737 (2001)

Bouschlicher, M. R.; Rueggeberg, F. A.; Wilson, B. M.

Correlation of bottom-to-top surface microhardness and conversion ratios for a variety of resin composite compositions
Oper Dent 29, 698-704 (2004)

Bühl, A., Zöfel, P.

SPSS Version 12.01
Adisson Wesley Verlag, München (2002)

Burgess, J. O.; Porche, C.

Composite hardness cured with four LED and one Quartz-Tungsten Halogen curing units
J Dent Res 81, Abstr. Nr. 3972 (2002)

Burtscher, P.; Salz, U.; Rheinberger, V.

Curing ability of a plasma lamp
J Dent Res 79, Abstr. Nr. 1531 (2000)

Burtscher, P., Rheinberger, V.

Efficiency of LED lights in comparison to halogen lamps

J Dent Res 81, Abstr. Nr. 3975 (2002)

Cardash, H. S.; Baharav, H.; Pilo, R.; Ben-Amar, A.

The effect of porcelain colour on the hardness of luting composite resin cement

J Prosthet Dent 69, 620-623 (1993)

Chan, K. C.; Boyer, D. B.

Curing light-activated composite cement through porcelain

J Dent Res 68, 476-480 (1989)

Chung, K. H.

Hardness tests in high filled composite resins

Chin Dent J 8, 27-32 (1989)

creamed Creative Medizintechnik

Crealight®-Produktbeschreibung (2002)

Danesh, G.; Davids, H.; Kaup, M.; Dammaschke, T.;

Reinhardt, K.-J.; Ott, K.

Werkstoffeigenschaften verschiedener Komposite nach Plasma- und

Halogenlichtpolymerisation

Dtsch Zahnärztl Z 56, 161-165 (2001)

DIN Taschenbuch 267 Zahnheilkunde, Werkstoffe

DIN Deutsches Institut für Normung, 1. Auflage

Beuth Verlag GmbH, Berlin (1997)

3M ESPE

Elipar FreeLight 2®, LED-Polymerisationsgerät

Technisches Produktprofil (2003)

Ducksworth, J.; Huget, E.; Swords, R.; Turner, E. W.

Effects of curing on a flowable resin composite

J Dent Res 80, Abstr. Nr. 1294 (2001)

El-Badrawy, W. A.; El-Mowafy, O. M.

Chemical versus dual curing of resin inlay cements

J Prosthet Dent 73, 515-524 (1995)

Ergle, J. W.; Rueggeberg, F. A.

Composite depths of cure using a variety of curing sources

J Dent Res 79, Abstr. Nr. 1804 (2000)

Ernst, C.-P.

Licht ins Dunkel der Lichtpolymerisation - State of the Art der
Lichtpolymerisationstechniken, Teil I

ZWR 111, 239-248 (2002)

Ernst, C.-P.

Licht ins Dunkel der Lichtpolymerisation - State of the Art der
Lichtpolymerisationstechniken, Teil II

ZWR 111, 309-318 (2002)

Ernst, C.-P.; Ermer, S.; Stender, E.; Willershausen, B.

Härtemessungen an einem lichthärtenden Befestigungskomponente

Dtsch Zahnärztl Z 53, 522-527 (1998)

Ernst, C.-P.; Heimeier, I.; Stender, E.; Willershausen, B.

Härtemessungen zur Ermittlung der maximalen Kompositschichtstärke von
Klasse-II-Füllungen bei Polymerisation von okklusal

Dtsch Zahnärztl Z 55, 139-144 (2000)

Ernst, C.-P.; Schauer, F.; Willershausen, B.

Leistungsvergleich von Lichtpolymerisationsgeräten (II)-Dauerbelastungstest
und Emissionsspektrenanalyse von netzbetriebenen
Lichtpolymerisationsgeräten

Acta Med Dent Helv 1, 64-69 (1996)

Ernst, C.-P.; Schauer, F.; Willershausen, B.; Hickel, R.

Leistungsvergleich von Lichtpolymerisationsgeräten (I)-Vergleich anhand von
Kompositpolymerisationstiefen

Acta Med Dent Helv 1, 58-63 (1996)

Ernst, C.-P.; Scheiblich, M.; Willershausen, B.

Depth of cure of a new blue LED curing device

J Dent Res 80, Abstr. Nr. 1501 (2001)

Ernst, C.-P.; Ziegler, B.; Willershausen, B.

Depth of cure of a new soft-start polymerization unit

J Dent Res 80, Abstr. Nr. 1502 (2001)

Hasegawa, E. A.; Boyer, D. B.; Chan, D. C. N.

Hardening of dual-cured cements under composite resin inlays

J Prosthet Dent 66, 187-192 (1991)

Hickel, R.; Heid, M.; Kunzelmann, K.-H.; Petschelt, A.

Durchhärttiefe von lichthärtenden Kompositen unter Keramik

Dtsch Zahnärztl Z 47, 182-185 (1992)

Hofmann, N.; Hugo, B.; Klaiber, B.

Effect of irradiation type (LED or QTH) on photo-activated composite shrinkage
strain kinetics, temperature rise and hardness

Eur J Oral Sci 110, 471-479 (2002)

Hofmann, N.; Hugo, B.; Schubert, K.; Klaiber, B.

Comparison between a plasma arc light source and conventional halogen curing units regarding flexural strength, modulus, and hardness of photoactivated resin composites

Clin Oral Invest 4, 140-147 (2000)

Hofman, N.; Papsthart, G.; Hugo, B.; Klaiber, B.

Comparison of photo-activation versus chemical or dual-curing of resin-based luting cements regarding flexural strength, modulus and surface hardness

J Oral Rehabil 28, 1022-1028 (2001)

Janda, R.; Roulet, J.-F.; Wulf, M.; Tiller, H.-J.

A new adhesive technology for all-ceramics

Dent Mater 19, 567-573 (2003)

Jandt, K. D.; Mills, R. W.; Blackwell, G. B.; Ashworth, S. H.

Depth of cure and compressive strength of dental composites cured with blue light emitting diodes (LEDs)

Dent Mater 16, 41-47 (2000)

Jung, H.; Friedl, K. H.; Hiller, K. A.; Furch, H.; Bernhart, S.; Furch, H.; Schmalz, G.

Efficiency of LED and halogen polymerization methods through ceramic restorations

J Dent Res 81, Abstr. Nr. 491 (2002)

Jung, H.; Friedl, K. H.; Hiller, K. A.; Furch, H.; Schmalz, G.

Efficiency of different polymerization methods through ceramic restorations

J Dent Res 82, Abstr. Nr. 0637 (2003)

Jung, H.; Friedl, K. H.; Hiller, K. A.; Furch, H.; Bernhart, S.; Schmalz, G.

Polymerization efficiency of different photocuring units through ceramic discs

Oper Dent 31, 68-77 (2006)

Jung, H.; Friedl, K. H.; Hiller, K. A.; Haller, A.; Schmalz, G.

Curing efficiency of different polymerization methods through ceramic restorations

Clin Oral Invest 5, 156-161 (2001)

Kamada, K.; Yoshida, K.; Atsuta, M.

Early bond strength and durability of bond between a ceramic material and chemically-cured or dual-cured resin luting agent

Am J Dent 14, 85-88 (2001)

Knezevic, A.; Tarle, Z.; Meniga, A.; Sutalo, J.; Pichler, G.; Ristic, M.

Degree of conversion and temperature rise during polymerization of composite resin samples with blue diodes

J Oral Rehabil 28, 586-591, (2001)

Komine, F.; Tomic, M.; Gerds, T.; Strub, J. R.

Influence of different adhesive cements on the fracture strength of aluminium oxide ceramic posterior crowns

J Prosthet Dent 92, 359-364 (2004)

Kook, K.; Stoll, R.; Stachniss, V.

Polymerisation mit Plasmalampen

ZMK 18, 10/2, 716-718 (2002)

Latta, M. A.; Stanislav, C. M.; Barkmeier, W. W.

Polymerization conversion of composite resins using different curing devices

J Dent Res 79, Abstr. Nr. 1519 (2000)

Leung, R. L.; Adishian, S. R.; Fan, P. L.

Postirradiation comparison of photoactivated composite resins

J Prosthet Dent 54, 645-649 (1985)

Linden, J. J.; Swift, E. J.; Boyer, D. B.; Davis, B. K.

Photo-activation of resin cements through porcelain veneers

J Dent Res 70, 154-157 (1991)

Lutz, F.; Krejci, I.; Frischknecht, A.

Lichtpolymerisation - Grundlagen und Praxistips für die korrekte Anwendung

Schweiz Monatsschr Zahnmed 102, 575-582 (1992)

Lutz, F.; Krejci, I.; Frischknecht, A.

Lichtpolymerisationsgeräte - Gerätetypen, Funktionsweise, Desinfektion und technischer Unterhalt

Schweiz Monatsschr Zahnmed 102, 565-572 (1992)

Marx, R.

Moderne keramische Werkstoffe für ästhetische Restaurationen - Verstärkung und Bruchzähigkeit

Dtsch Zahnärztl Z 48, 229-236 (1993)

Marxkors, R.; Meiners, H.

Taschenbuch der zahnärztlichen Werkstoffkunde

Hanser Verlag, München/Wien (1993)

Meniga, A.; Knezevic, Z.; Tarle, Z.; Sutalo, J.; Pichler, G.

Blue superbright LED's as an alternative to soft-start halogen curing units

J Dent Res 77, 685, Abstr. Nr. 432 (1998)

Meyer, G.-R.; Ernst, C.-P.; Willershausen, B.

Decrease in power output of a new light-emitting diode (LED) curing devices with increasing distance to filling surface

J Adhes Dent 4, 197-204 (2002)

Mills, R. W.; Jandt, K. D.; Ashworth, S. H.

Dental composite depth of cure with halogen and blue light emitting diode technology

Br Dent J 186, 388-391 (1999)

Mills, R. W.; Uhl, A.; Blackwell, G. B.; Jandt, K. D.

High power light emitting diode (LED) arrays versus halogen light polymerization of oral biomaterials: Barcol hardness, compressive strength and radiometric properties

Biomat 23, 2955-2963 (2002)

Mörig, G.

Langzeiterfahrungen mit adhäsiv befestigten Keramikrestorationen-
Folgerungen für die klinische Anwendung

Quintessenz 51, 891-900 (2000)

Mueller, U.; Stigler, R.; Schulte Moenting, J.; Hahn, P.

Effect of different polymerization methods during insertion of ceramic inlays
J Dent Res 84, (2004)

Munksgaard, E. C.; Peutzfeldt, A.; Asmussen, E.

Elution of TEGDMA and BisGMA from a resin and a resin composite cured with halogen or plasma light

Eur J Oral Sci 108, 341-345 (2000)

**Murdock, C. M.; Latta, M. A.; Barkmeier, W. W.; Hammesfahr, P. D.;
Wang, X.**

Barcol hardness vs. direct degree of conversion measurement

J Dent Res 80, Abstr. Nr. 595 (2001)

O'Meara, J. D.; Latta, M. A.; Naughton, W. T.

Polymerization conversion of a light-cured cement through a restorative ceramic

J Dent Res 82, Abstr. Nr. 1654 (2003)

Ozyesil, A. G.; Usumez, A.; Gunduz, B.

The efficiency of different light sources to polymerize beneath a simulated ceramic restoration

J Prosthet Dent 91, 151-157 (2004)

Papazoglou, E; Rahiotis, C.; Kakaboura, A.; Loukidis, M.

Curing efficiency of a photo- and dual-cured resin cement polymerized through 2 ceramics and resin composite

Int J Prosthet 19, 34-36 (2006)

Peutzfeldt, A.

Correlation between recordings obtained with a light-intensity tester and degree of conversion of a light-curing resin

Scand J Res Dent 102, 73-75 (1994)

Peutzfeldt, A.

Dual-cure resin cements : in vitro wear and effect of quantity of remaining double bonds, filler volume and light curing

Acta Odontol Scand 53, 29-34 (1995)

Peutzfeldt, A.

Indirect resin and ceramic systems

Oper Dent, Supplement 6, 153-176 (2001)

Peutzfeldt, A.; Sahafi, A.; Asmussen, E.

Characterization of resin composites polymerized with plasma arc curing units

Dent Mater 16, 330-336 (2000)

Rasetto, F. H.; Driscoll, C. F.; von Fraunhofer, J. A.

Curing efficiency of resin polymerized through veneers with various lights

J Dent Res 80, 253, Abstr. Nr. 1739 (2001)

Rasetto, F. H.; Driscoll, C. F.; von Fraunhofer, J. A.

Effect of light source and time on the polymerization of resin cement through ceramic veneers

J Prosthodont 10, 133-139 (2001)

Roberts, S. B.; Puckett, A. D.; Inman, C. C.; Fitchie, J. G.

Comparison of a plasma-arc and conventional halogen light-curing units

J Dent Res 79, Abstr. Nr. 1802 (2000)

Rueggeberg, F. A.; Caughman, W. F.; Curtis, J. W.

Effect of light intensity and exposure duration on cure of resin composite

Oper Dent 19, 26-32 (1994)

Schmalz, G.; Federlin, M.; Geurtsen, W.

Sind Keramik-Inlays und -Veneers wissenschaftlich anerkannt?

Dtsch Zahnärztl Z 49, 197-208 (1994)

Schroeder, W. F.; Vallo, C. I

Effect of different photoinitiator systems on conversion profiles of a model unfilled light-cured resin

Dent Mater 23 (10), 1313-1321 (2007)

Strickling, W.

Vergleichende Untersuchung zur Härte von Aufbrennlegierungen und die klinische Relevanz von Härteangaben

Medizinische Dissertation, Marburg (1988)

Stoll, R.; Kook, K.; Kunzelmann, K. H.; Zöfel, P.; Stachniss, V.

Influence of a high-speed polymerization method on the marginal integrity of composite fillings in class-II-cavities

Clin Oral Invest 4, 42-49 (2000)

Tanioli, M.; Bouschlicher, M.; Rueggeberg, D.; Mettenburg, D.

Depth of cure with QTH and plasma arc curing lights

J Dent Res 80, Abstr. Nr. 1753, (2001)

Tanioli, M.; Bouschlicher, M.; Rueggeberg, D.; Mettenburg, D.

Depth of cure comparison of LED, plasma arc and QTH curing lights

J Dent Res 81, Abstr. Nr. 490, (2002)

Thormann, J.; Lutz, F.

Typenprüfung von Lichtpolymerisationsgeräten I: Prüfungsprotokoll

Schweiz Monatsschr Zahnmed 109, 1191-1197 (1999)

Thormann, J.; Lutz, F.

Typenprüfung von Lichtpolymerisationsgeräten II: Stand 1998

Schweiz Monatsschr Zahnmed 109, 1299-1312 (1999)

Tiara, M.; Urabe, H.; Hirose, T.; Wakasa, K.; Yamaki, M.

Analysis of photo-initiators in visible-light-cured dental composite resins

J Dent Res 67, 24-28 (1988)

Tsai, P. C.; Meyers, I. A.; Walsh, L. J.

Depth of cure and surface microhardness of composite resin cured with blue LED curing lights

Dent Mater 20, 364-369 (2004)

Uhl, A.; Mills, R. W.; Jandt, K. D.

Photoinitiator dependent composite depth of cure and Knoop hardness with halogen and LED light curing units

Biomat 24, 1787-1795 (2003)

Uhl, A.; Mills, R. W.; Jandt, K. D.

Polymerization and light-induced heat of dental composites cured with LED and halogen technology

Biomat 24, 1809-1820 (2003)

Wang, X.; Sang, J.

Vickers hardness of hybrid composites cured by high power curing lights
J Dent Res 80, Abstr. Nr. 1743 (2001)

Warren, K.

An investigation into the microhardness of a light cured composite when cured
through varying thickness of porcelain
J Oral Rehabil 17, 327-334 (1990)

Wassell, R. W.; McCabe, J. F.; Walls, A. W. G.

Subsurface deformation associated with hardness measurements of
composites
Dent Mater 8, 218-223 (1992)

9. Materialverzeichnis

Handelsname / Produkt	Hersteller / Bezugsquelle
1. Barcol Impressor GYZJ 934-1	Barber Colman Company Rockford, Illinois (USA)
2. Elipar TriLight [®]	3M ESPE, D-82229 Seefeld
3. Elipar FreeLight 2 [®]	3M ESPE, D-82229 Seefeld
4. crealight [®]	Schütz, Dentalgroup, D-61191 Rosbach
5. Ambarino Flow [®]	creamed; 35041 Marburg
6. Duo Cement plus [®]	Coltène; D-78462 Konstanz
7. RelyX Unicem [®]	3M ESPE; D-82229 Seefeld
8. Aluminiumoxid-Keramik Nuance 750 [®]	Schütz, Dentalgroup, D-61191 Rosbach
9. Cellophanstreifen	Seitz & Haag, D-35440 Linden
10. Anrührspatel	Seitz & Haag, D-35440 Linden
11. Glasscheibe	Dentaldepot, 35039 Marburg
12. Teflonring	Medizintechnik, 35033 Marburg
13. Plexiglasring	Medizintechnik, 35033 Marburg
14. SPSS 12.01	SPSS Inc., Chicago, Illinois, USA
15. Filmdosen	Fotogeschäft, 35037 Marburg
16. wasserfester Stift	Schreibwarenhandel, 35037 Marburg
17. Messvorrichtung	Medizintechnik, 35033 Marburg

10. Danksagung

Besonders danken möchte ich Herrn Prof. Dr. Vitus Stachniss für die Überlassung des Dissertationsthemas und Frau Oberärztin Dr. Kathrin Sonntag-Kook für die intensive Betreuung und den fachlichen Rat während der gesamten Arbeit.

Herrn Dr. David Sonntag danke ich für die ausgezeichnete Betreuung bei der statistischen Auswertung.

Ich danke allen beteiligten Firmen, besonders 3M ESPE, Coltène, Creamed sowie der Firma Schütz und Prof. Dr. Michael Gente für die Bereitstellung der Instrumente/Materialien.

Meiner Familie danke ich für ihre Unterstützung und ihr Vertrauen in mein Leistungsvermögen.

Letztlich möchte ich mich bei allen bedanken, die mich bei der Entstehung meiner Dissertation unterstützt haben.

12. Verzeichnis Akademischer Lehrer

Meine akademischen Lehrer in Marburg waren folgende Damen und Herren Professoren und Privatdozenten:

Aumüller, Austermann, Cetin, Cubayco, Daut, Dibbets, Feuser, Flores-deJacoby, Fruhstorfer, Gente, Geus, Jungclas, Kern, Koolmann, Lammel, Lang, Lange, Lehmann, Lotzmann, Löffler, Mengel, Mittag, Neumüller, Pieper, Radsak, Ramaswamy, Richter, Röhm, Rogausch, Schumacher, Seitz, Siegel, Stachniss, Stoll, Steininger, Stelzel, Suske, Umstadt, Voigt, Weihe, Wenz, Werner, Westermann.