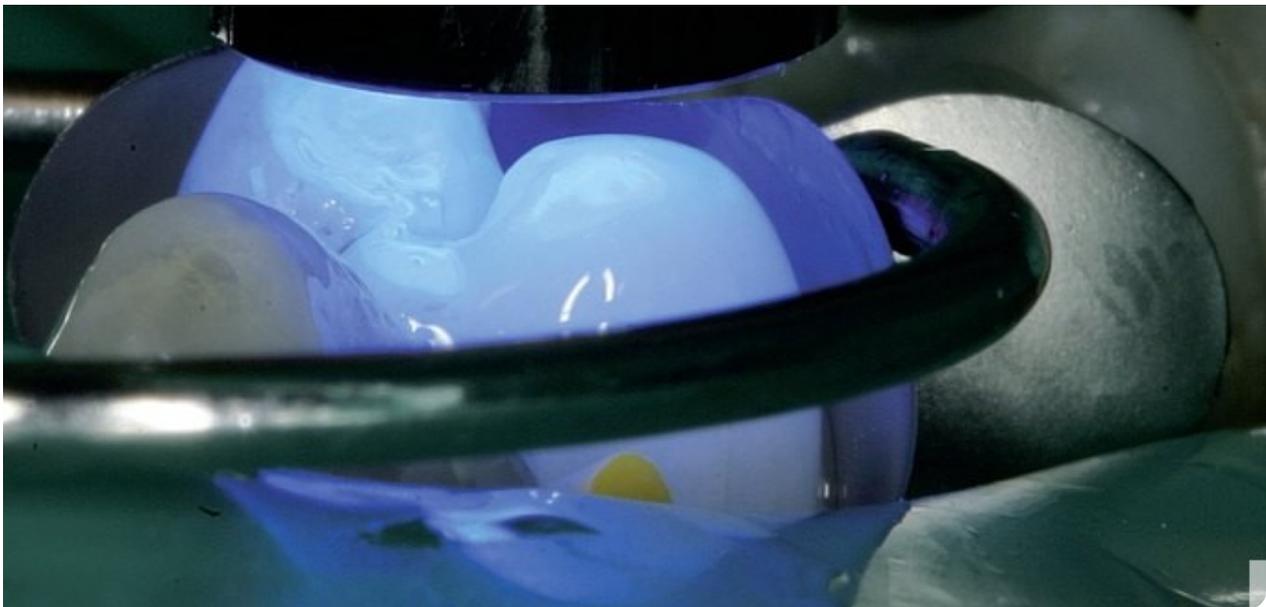


ALLGEMEINE ZAHNHEILKUNDE

# Der effiziente Einsatz von Lichtpolymerisationsgeräten – ein Leitfaden für Zahnärzte

19.04.2014

- *Prof. Dr. Jack L. Ferracane*, *Prof. Dr. David C. Watts*, *Prof. Dr. Nasser Barghi*, *Prof. Dr. Claus-Peter Ernst*, *Prof. Dr. Frederick A. Rueggeberg*, *Adrian Shortall*, *Prof. Dr. Richard Price*, *Prof. Dr. Howard Strassler*



Die Lichtpolymerisation wird in der Regel als notwendiges Übel betrachtet – eine zeitaufwendige Tätigkeit, in der man „sonst ja nichts macht“. Der kanadische Zahnarzt und Wissenschaftler Richard Price der Dalhousie Universität in Halifax beschäftigt sich über die letzten Jahrzehnte vorrangig mit diesem unbeliebtem Thema – und zwar nicht nur mit den Geräten selbst, sondern auch mit deren Anwendung. Wir konnten in der ZMK im letzten Jahr mit der deutschen Übersetzung einer beeindruckenden Studie von ihm zeigen, dass die individuelle Handhabung eines Lichtgerätes einen immensen Einfluss auf die Polymerisationsqualität haben kann. Vor gut zwei Jahren kam er auf die Idee, die wichtigsten Statements zur Lichtpolymerisation in einem Beitrag von anerkannten Experten zu dem Thema zusammenzufassen und dies durch die ADA (American Dental Association) online veröffentlichen zu lassen. Ein Projekt das nach unzähligen Korrekturen und Aktualisierungen mit der Veröffentlichung im Herbst letzten Jahres einen Abschluss fand. Aufgrund eigener persönlicher Kontakte konnten wir alle Autoren und die ADA dazu bewegen, diesen Übersichtsbeitrag auch der deutschsprachigen Zahnärzteschaft in Form einer Übersetzung exklusiv zu Verfügung zu stellen.

Lichtgehärtete Kompositrestaurationen funktionieren nur dann gemäß den Herstellerangaben, wenn ihnen die erforderliche Energiemenge zur Aushärtung in sehr speziellen Wellenlängen zugeführt wird. Dies bedeutet, dass vom Lichtpolymerisationsgerät die korrekte Strahlungsdichte, Bestrahlungsdauer und Emissionsspektrum geliefert werden müssen. Leider hat jede Studie, die sich mit

Lichtpolymerisationsgeräten in Zahnarztpraxen beschäftigt, gezeigt, dass eine Vielzahl dieser Lichtpolymerisationsgeräten keine ausreichende Strahlungsdichte liefern und dass die von vielen Behandelnden angewandten Techniken der Lichthärtung möglicherweise ineffizient sind.



ADA Professional Product Review.

Einer Studie der American Dental Association (ADA) aus dem Jahr 2005/06 zufolge werden jährlich schätzungsweise 146 Millionen Kompositrestaurationen und Versiegelungen durchgeführt [1]. Bei nahezu allen Behandlungen werden lichtgehärtete Verbundstoffe auf Kunstharzbasis verwendet. Diese Tatsache lässt die Folgerung zu, dass die Lichtpolymerisationsgeräte zu einem unverzichtbaren Werkzeug in Zahnarztpraxen geworden sind. Während die Konzentration der Forschung und Lehre überwiegend auf der Auswahl der geeigneten Komposite oder Lichtpolymerisationsgeräte und auf der korrekten Handhabung der Füllungsmaterialien lag, wurden nur wenige Forschungsergebnisse in Bezug auf die Techniken der Lichthärtung veröffentlicht. Dies liegt wahrscheinlich daran, dass die Lichthärtung als unkompliziertes Verfahren wahrgenommen wird; dabei wird die entscheidende Rolle des Lichtpolymerisationsgerätes und die Bedeutung der Anwendung der exakten Lichtpolymerisationstechnik oftmals bei der Schulung in Bezug auf erfolgreiche Kompositrestaurationen nicht deutlich genug hervorgehoben. Eine Vielzahl von Lichtpolymerisationsgeräten in den Zahnarztpraxen verfügen nicht über die erforderliche Leistungsstärke und aus diesem Grund ist es sehr wahrscheinlich, dass zahlreiche verwendete Komposite nicht ausreichend aushärten und nicht die vom Hersteller herausgestellten [2–7] Eigenschaften erreichen.

Eine Studie aus dem Jahr 2010, bei der zeitgemäße und korrekt funktionstüchtige Lichtpolymerisationsgeräte verwendet wurden, hat gezeigt, dass die jeweilige Anwendungstechnik durch den Behandler einen entscheidenden Einfluss auf die vom Komposit aufgenommene Energiemenge hat [2]. Die Studie untersuchte die Fähigkeiten von 10 Zahnärzten und 10 Studenten, einer simulierten Füllung in einem Phantomkopf eine angemessene Energiedosis (10 J/cm<sup>2</sup>) zuzuführen. Bei Verwendung desselben Lichtpolymerisationsgerätes und bei derselben Polymerisationszeit konnten enorme Unterschiede in Bezug auf die zugeführte Energie festgestellt werden: 27 % führten einer Füllung in einer Klasse I Kavität im Molarenbereich weniger als die erforderliche

Energiedosis von  $10 \text{ J/cm}^2$  zu und sogar 82 % der Kandidaten führten einer Klasse-V-Füllung im Molarenbereich weniger als  $10 \text{ J/cm}^2$  zu. Wenn wir dieses Szenario, nämlich die Tatsache, dass eine derart geringe Energiedosis zugeführt wurde, auf größere Gruppen hochrechnen, mag man möglicherweise eine Erklärung dafür finden, warum Kompositrestaurationen oftmals lediglich eine Überlebensdauer von 5 bis 7 Jahren aufweisen, obwohl eine Lebensdauer von mindestens 15 Jahren möglich ist.

In den folgenden Ausführungen präsentieren wichtige Meinungsbildner breitgefächerte internationale Wissenschaftsexpertisen aus dem Bereich der Lichthärtung. Diese kurzen Zusammenfassungen unterstreichen die entscheidende Rolle der Lichthärtung in der modernen Zahnarztpraxis. Es werden klinisch relevante Richtlinien zur Optimierung der Lichthärtungstechnik zur Verfügung gestellt, um den Behandlern eine Hilfestellung bei der Zuführung ausreichender Energiemengen zu gewähren. Auf diesem Weg soll die Wahrscheinlichkeit erhöht werden, dass die Kompositmaterialien die von den Herstellern angestrebten Eigenschaften erreichen und dass der langfristige klinische Erfolg von lichtgehärteten Kompositmaterialien verbessert wird.

---

## Warum bei Kompositmaterialien die Zuführung einer ausreichenden Energiemenge wichtig ist

Fast täglich werden Zahnärzte mit Kompositfüllungen konfrontiert, die Randdefekte oder Frakturen, großflächigen Verfärbungen und Randverfärbungen, Verluste der anatomischen Form, Retentionsverluste oder Sekundärkaries aufweisen. Es gibt genügend Hinweise darauf, dass bei Verabreichung einer insuffizienten Energiemenge die resultierende Kompositrestauration nicht die optimalen Eigenschaften aufweist und ihre klinische Qualität minderwertig ist. Deshalb ist es wichtig, einige grundsätzliche Fakten im Gedächtnis zu behalten:



*Prof. Dr. Jack L. Ferracane*

## Warum Kompositrestaurationen erfolglos bleiben und der Zusammenhang zwischen zugeführter Lichtenergie und Kompositeigenschaften

Als häufigste Ursachen für die Auswechslung von Kompositrestaurationen werden Sekundärkaries und Füllungsfrakturen genannt. Andere Ursachen beinhalten Randimperfektionen und Verfärbungen, endodontologische Komplikationen sowie Zahnfrakturen. Es ist allgemein bekannt, dass eine unzureichende Polymerisation der Kunstharzmatrix durch die Zufuhr unzureichender Energiemengen oder durch die Zufuhr von Licht der falschen Wellenlänge eine nachteilige Wirkung auf die Eigenschaften des Kompositmaterials ausübt [13–26]. Der Übergangsbereich am Rand des approximalen Kastens bei Klasse-II-Füllungen ist der Bereich, an dem Sekundärkaries am häufigsten auftritt. Zusätzlich zu dem Risiko, dass dieser Bereich vorrangig im Dentin liegt, kommt hinzu, dass dieses Areal am weitesten vom Lichtpolymerisationsgerät entfernt ist und oftmals im Schatten des Matrizenbands oder der bestehenden Zahnstruktur liegt. Folglich wird dem Komposit in diesem Bereich deutlich weniger Licht und Energie zugeführt als an der Okklusalfäche.

Um dieser Problematik entgegen zu treten und um eine optimale Polymerisation des Kompositmaterials zu gewährleisten, wird empfohlen, die Belichtungszeit bei der Polymerisation des ersten Kompositinkrementes zu verlängern [27]. Dies kann möglicherweise dazu beitragen, die negativen Folgen abzuschwächen, deren Auftreten bei unzureichender Energiezufuhr dokumentiert wurde: Verminderte mechanische Eigenschaften wie Beanspruchbarkeit und Härte [13,14], verminderte Abrasionsstabilität [15–17] reduzierte Haftung an der Zahnhartsubstanz [28,29], verstärktes „Auswaschen“ des Komposites am Zahnfleischrand [25], verstärkte bakterielle Adhärenz auf dem Komposit [25], reduzierte Farbstabilität [18,19], erhöhte Abgabe herauslösbarer Substanzen (inklusive Bisphenol A [26,30]) und verstärkte Zytotoxizität [20–24].

## Relation zwischen Laborergebnissen und klinischen Beobachtungen

Basierend auf der großen Anzahl von wissenschaftlichen Aussagen aufgrund von In-vitro-Studien ist es sehr gut möglich, dass die schlechten klinischen Eigenschaften vieler Kompositmaterialien auf eine unzureichende Polymerisation des Füllungsmaterials zurückzuführen sind. Unterstützt wird diese Vermutung durch eine klinische Studie bei Patienten, in deren Prothesen Kompositfüllungen eingearbeitet worden sind. Diese Kompositfüllungen wurden mit unterschiedlichen Polymerisationszeiten ausgehärtet [17]. Diese Studie zeigte, dass Füllungen, die mit einem niedrigeren

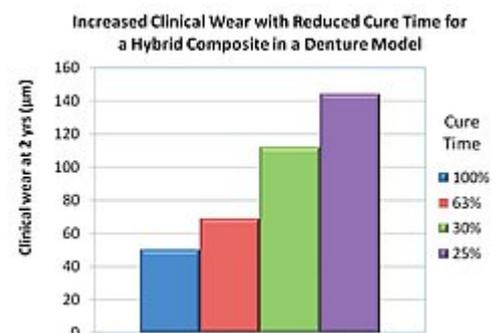


Abb. 1: Erhöhte Abrasion bei reduzierter Aushärtungszeit für ein Hybridkomposit in einem Prothesenmodell (übernommen von Ferracane u. a. 1997 [17]).

Aushärtungsgrad eingebracht wurden, nach nur zwei Jahren eine erheblich umfangreichere und klinisch inakzeptable Abnutzung der Kauflächen aufwiesen (Abb. 1).

## Klinische Signifikanz

Auf Grundlage einer Vielzahl von wissenschaftlichen Publikationen müssen lichthärtenden Kompositen angemessene Lichtmengen zugeführt werden, damit diese ihre beabsichtigten physikalischen, chemischen und optischen Eigenschaften erlangen können.

## Das zum Komposit passende Lichtpolymerisationsgerät

Um eine optimale Aushärtung des Komposites zu gewährleisten, unterliegen Zahnärzte der klinischen Verantwortung, Komposit und Lichtpolymerisationsgerät so auszuwählen und zu verwenden, dass diese optimal zueinander passen.

Angesichts der enormen Variabilität sowohl von Kompositen als auch von

Lichtpolymerisationsgeräten ist dies jedoch keine leichte Aufgabe. Die Strahlungsdichte eines

Lichtpolymerisationsgerätes, die auch als Lichtstärke oder Leistungsdichte bezeichnet wird, wird in der Regel in der Einheit  $\text{mW}/\text{cm}^2$  angegeben. Die Bestrahlungsdichte oder Energiedichte (E), die auf die Füllung einwirkt, wird in  $\text{J}/\text{cm}^2$  angegeben und sie ist das mathematische Produkt aus der Strahlungsdichte des Lichtpolymerisationsgerätes (I in  $\text{mW}/\text{cm}^2$ ) und der Bestrahlungsdauer (t in Sekunden):  $E = I \times t$ . Die Empfehlungen der Hersteller bezüglich der Belichtungszeiten werden häufig unterschätzt, da sie unter idealen Laborbedingungen festgelegt werden [32–35]. Allerdings können die Empfehlungen unter Umständen keinerlei klinische Relevanz besitzen, weil die zugeführte Energiemenge in hohem Maße von der Technik des Behandlers und der Position der Füllung innerhalb des Mundraumes abhängig ist [2].



*Prof. Dr. David C. Watts*

## Gewährleistung, dass die Wellenlänge des ausgestrahlten Lichts den Anforderungen des spezifischen Restaurationsmaterials entspricht

Bei den momentan zuverlässigsten Lichtpolymerisationsgeräten handelt es sich um LED-Geräte, jedoch können auch diese erhebliche Schwankungen in Bezug auf die Lichtleistung (Strahlungsdichte) aufweisen und sehr verschiedene Strahlungsspektren liefern [36].

Darüber hinaus existiert eine erhebliche Bandbreite bei der chemischen Zusammensetzung, bei den Farben, den Füllkörpern und bei der Lichtdurchlässigkeit der Komposite [37–42]. Diese Unterschiede bewirken, dass die Anforderungen an die Lichtenergie und die Wellenlängen, welche zur Aktivierung der Photoinitiatoren innerhalb der verschiedenen Komposite notwendig sind, theoretisch und praktisch erheblich variieren [31,32,40,42–45]. Leider versäumen es zahlreiche Hersteller von Kompositen anzugeben, welche spezifischen Wellenlängen für eine optimale Polymerisation ihrer Materialien erforderlich sind. Allgemeine Angaben, wie „Lichtpolymerisationsgeräte sollten Licht in einem Wellenlängenbereich von 400 bis 500 nm liefern“, sind nicht genau genug, da bereits minimale Differenzen des Emissionsspektrums der Lichtpolymerisationsgeräte deren Fähigkeit zur Polymerisierung der Komposite beeinflussen können [36,40,41,44,46].

Da dentale Hand-Radiometer keine Bestimmung des Emissionsspektrums der Lichtpolymerisationsgeräte ermöglichen und da nur wenige Behandler derartige Geräte besitzen, die dies ermöglichen, ist man bei der Bestimmung des Emissionsspektrums der Lichtpolymerisationsgeräte auf die rudimentären Informationen der Hersteller angewiesen. Dieser Informationsmangel kann es für den Behandelnden sehr schwierig machen, für das verwendete Komposit ein adäquates Lichtpolymerisationsgerät und die Polymerisationszeit auszuwählen. Handelt es sich bei dem Lichtpolymerisationsgerät um ein Halogenlichtpolymerisationsgerät, ist die Bandbreite der Wellenlängen ausreichend gefächert, um jedes Kompositmaterial ausreichend auszuhärten. Die überwiegende Zahl der LED- oder LASER-Lichtpolymerisationsgeräte produziert allerdings ein sehr enges Emissionsspektrum und diese Geräte sind in der Regel auf die Härtung des am häufigsten verwendeten Photoinitiators Campherchinon, der sein Absorptionsmaximum bei einer Wellenlänge von etwa 468 nm zeigt, ausgerichtet [36]. Da verschiedene Komposite hingegen alternative Photoinitiatoren enthalten, welche auf sehr unterschiedliche Wellenlängen ansprechen (z. B. 410 nm), besteht durchaus die Möglichkeit, dass ein nicht ideal auf diesen Initiator abgestimmtes LED- oder LASER-Lichtpolymerisationsgerät zur Anwendung kommt; in einigen Fällen kann es sogar vorkommen, dass das Komposit überhaupt nicht aushärtet. Infolge wurden LED-Lichtpolymerisationsgeräte eingeführt, die zwei oder mehr verschiedenfarbige LEDs verwenden, was bedeutet, dass die entsprechende Strahlung sowohl den blauen (~ 460 nm) als auch den violetten (~ 410 nm) Wellenlängenbereich abdeckt. Diese „Polywave“-LED-Lichtpolymerisationsgeräte sind für die Härtung von Kompositen sowohl mit konventionellen als auch mit alternativen Photoinitiatoren konzipiert [40,43, 44]. Sollte der Zahnarzt ein Kompositmaterial verwenden, das keine Photoinitiatoren wie z.B. Lucerin enthält, ist die Verwendung eines „Polywave“-LED-Lichtpolymerisationsgerätes nicht erforderlich, da das von diesen Geräten emittierte Licht niedrigerer Wellenlänge für die Polymerisation von Kompositen mit Campherchinon weniger gut geeignet ist. Da Hersteller momentan nicht dazu verpflichtet sind anzugeben, welche spezifischen Wellenlängen für die optimale Polymerisation ihrer

Materialien erforderlich sind, muss der Behandler oftmals raten, ob ein Breitband-Lichtpolymerisationsgerät zu verwenden ist oder nicht. Bietet ein Komposithersteller in seinem Sortiment ebenfalls „Polywave“-LED-Lichtpolymerisationsgeräte (die blaues und violette Licht ausstrahlen) an, ist es sehr wahrscheinlich, dass mindestens einige der von dem Hersteller angebotenen Materialien zur optimalen Polymerisation ein solches Lichtpolymerisationsgerät benötigen.

## Anleitung zur Lichthärtung

Verschiedene Unternehmen, wie zum Beispiel Dentsply, bieten ausführliche Lichtpolymerisationstabellen an, in denen abzulesen ist, welche Polymerisationszeiten bei ihren Lichtpolymerisationsgeräten erforderlich sind, um eine optimale Polymerisation ihrer Produkte zu gewährleisten. Einer solchen Tabelle ist zu entnehmen, dass eine bestimmte Kompositfarbe und Opazität bei bestimmten Dentsply Lichtpolymerisationsgeräten lediglich 5 Sekunden Polymerisationszeit erfordern (zur Verabreichung von  $6 \text{ J/cm}^2$ ), während ein anderer Material- und Farbtyp 40 Sekunden Polymerisationszeit mit denselben Lichtpolymerisationsgeräten erfordert (Verabreichung von  $48 \text{ J/cm}^2$ ) [47]. Diese Bandbreite von 6 bis  $48 \text{ J/cm}^2$  bei Materialien von ein und demselben Hersteller macht die Lichthärtung für den Behandler zu einer komplizierten Angelegenheit. Beachtliche Unterschiede können auch bei nominell gleichwertigen Produkten von verschiedenen Herstellern festgestellt werden; eine A2-Farbe von einem Hersteller kann unter Umständen eine andere Wellenlänge und Energiemenge erfordern als eine A2-Farbe eines anderen Herstellers [33, 34,37,41,48].

## Klinische Signifikanz

Da lichthärtende Kompositmaterialien die exakt auf sie abgestimmte Menge an Lichtenergie ( $\text{J/cm}^2$ ) in der richtigen Wellenlänge benötigen, um die beabsichtigten physikalischen, chemischen und optischen Eigenschaften zu entwickeln, sollten Komposithersteller die notwendigen Parameter für eine angemessene Polymerisation ihrer Komposite angeben. Zahnärzte können dann die Lichtpolymerisationsgeräte und die Bestrahlungsdauer an die verwandten Kompositmaterialien anpassen.

---

Vergewisserung, dass sich das Lichtpolymerisationsgerät in einem einwandfreien Zustand befindet

Ein möglicher Grund dafür, dass eine Vielzahl von Kompositrestaurationen nicht ausreichend ausgehärtet sind, kann darin zu suchen sein, dass viele der in den Zahnarztpraxen weltweit verwandten Lichtpolymerisationsgeräte keine angemessene Strahlungsdichte [34,49] von mindestens 300 bis 400 mW/cm<sup>2</sup> liefern.



*Prof. Dr. Nasser Barghi*  
*Prof. Dr. Claus-Peter Ernst*

## Studien zu Lichtpolymerisationsgeräten

Im Jahre 1994 wurde eine Studie über die abgegebene Strahlungsdichte von 209 Lichtpolymerisationsgeräten aus privaten Zahnarztpraxen dreier nordamerikanischer Großstadtbereiche veröffentlicht [3]. 30 % dieser Lichtpolymerisationsgeräte lieferten Strahlungsdichten unter 199 mW/cm<sup>2</sup> und 16 % Werte zwischen 200 und 349 mW/cm<sup>2</sup>. Nur bei 54 % der Lichtpolymerisationsgeräte lag der Wert der Strahlungsdichte über 350 mW/cm<sup>2</sup>. Diese Studie wurde zehn Jahre später wiederholt, als insgesamt 161 Lichtpolymerisationsgeräte aus 65 Zahnarztpraxen zweier Texanischer Ballungsräumen untersucht wurden [50]. Diesmal lieferten etwa 10 % der geprüften Lichtpolymerisationsgeräte Strahlungsdichten von unter 250 mW/cm<sup>2</sup> und bei 77 % wurden Verunreinigungen auf den Oberflächen der Lichtleiter festgestellt. Diese beiden

Studien offenbaren eine allgemeine Verbesserung der Strahlungsdichte, allerdings weisen verschiedene Lichtpolymerisationsgeräte immer noch eine sehr niedrige Strahlungsdichte auf. Zudem wurde bei einer nicht unerheblichen Anzahl Verunreinigungen durch Komposit- oder Bondingreste auf den Oberflächen der Lichtleiter festgestellt.

Eine vergleichbare Situation wurde im Rahmen einer Studie aus dem Jahr 2006 in Deutschland festgestellt. Das Niveau der Strahlungsdichte von 659 Lichthärteeinheiten aus 301 Zahnarztpraxen im Rhein-Main-Gebiet wurde mithilfe eines Labormessgerätes (Ulbricht-Kugel) gemessen [4]. 7 % sämtlicher Lichtpolymerisationsgeräte lieferte

weniger als  $200 \text{ mW/cm}^2$ ; bei 26 % lag der Messwert unter  $400 \text{ mW/cm}^2$ . Verschmutzungen der Lichtleiter durch Bonding oder Kompositreste wurden bei 37 % der Lichtpolymerisationsgeräte festgestellt, bei 5 % wiesen die Lichtleiter Beschädigungen auf und bei 6 % lagen sowohl Verschmutzungen als auch Verunreinigungen durch Komposite vor (Abb. 2). In England lieferten 28 % der untersuchten

Lichtpolymerisationsgeräte weniger als  $300 \text{ mW/cm}^2$ , hier waren 47 % beschädigt und bei 35 % der Lichtpolymerisationsgeräte wurden verschiedene Verschmutzungsgrade der Lichtleiter konstatiert [5]. 48 % der in Brasilien [6] untersuchten Lichtpolymerisationsgeräte lieferten weniger als  $200 \text{ mW/cm}^2$ , während in Kanada [7] von 214 geprüften Lichtpolymerisationsgeräten 12 % weniger als  $300 \text{ mW/cm}^2$  lieferten. Messwerte aus Saudi Arabien belegten, dass die mittlere Strahlungsdichte von Halogen- und von LED-Lichtpolymerisationsgeräten bei  $260$  bzw.  $589 \text{ mW/cm}^2$  lag. Der Anteil von Halogenlampen als auch von LED-Lichtpolymerisationsgeräten, welche sich als nicht zufriedenstellend herausstellten, belief sich auf 67,5 bzw. 15,6 % [51].

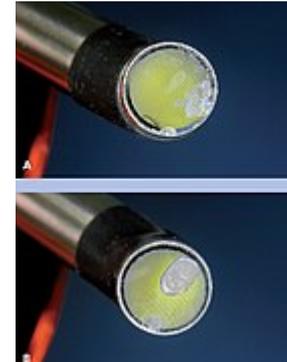


Abb. 2: Beispiele eines beschädigten Lichtleiters (A) und einer Verschmutzung des Lichtaustrittsfensters durch Anhaftungen von Kompositen (B).

## Klinische Signifikanz

Die Behandler sollten die Leistung ihrer Lichtpolymerisationsgeräte unter Verwendung eines Radiometers regelmäßig prüfen, um eine optimale Funktionsweise zu gewähren und geeignete Maßnahmen ergreifen, um Verunreinigungen der Lichtleitern durch Kompositbzw. Bondingreste zu verhindern bzw. zu beseitigen.

---

## Potenzielle Gesundheitsprobleme in Verbindung mit der Lichtpolymerisation

Die Lichtpolymerisation erzeugt Hitze [52–55]. Im Jahre 2012 wurde von drei Fällen berichtet, in denen ein Lichtpolymerisationsgerät möglicherweise Verbrennungen der Lippe verursacht hat [56]. Die Autoren empfahlen, dass Lichtaustrittsfenster des Lichtpolymerisationsgerätes von Weichgewebe fernzuhalten ist. Es wurde ebenfalls berichtet, dass auch die Kofferdamisolierung keinen nennenswerten Schutz für die Weichgewebe darstellt. Des Weiteren wurde empfohlen, die Lichtpolymerisationsgeräte ausschließlich über dem Komposit bzw. Bonding einzuschalten und den Kofferdam mit einer Gaze zu unterlegen, um die Hitzeeinwirkung auf das Weichgewebe zu reduzieren. Das Gefahrenpotenzial im Hinblick auf die Verursachung von Verbrennungen des Weichgewebes wird dadurch verschärft, dass viele Behandler die von den Herstellern empfohlenen Polymerisationszeiten absichtlich überschreiten, um genügende Lichtzufuhr zur Polymerisation des Kompositmaterials zu gewährleisten. Auch wenn dahinter die gute Absicht steckt, optimale physikalische Eigenschaften des Komposites zu generieren, kann es allerdings durch die zusätzliche Energie, die dem Zahn zugeführt wird, zu einem exzessiven Temperaturanstieg innerhalb der Zahnpulpa kommen. Den Behandler wird oftmals die Verwendung von Wasser zur Kühlung nahegelegt, um unnötige Hitzeeinwirkungen auf die Pulpa, welche zu postoperativen Hypersensitivitäten oder Pulpadegenerationen führen können, zu vermeiden. Aus demselben Grund sind Überhitzungen des Zahns beim Einsatz der Lichtpolymerisationsgeräte unbedingt zu vermeiden.



*Prof. Dr. Frederick A. Rueggeberg*

## Was ist als inakzeptabler Temperaturanstieg zu bezeichnen?

Eine Studie auf Grundlage von Tierversuchen hat ergeben, dass ein Temperaturanstieg innerhalb der Pulpa um 5,5 °C bei Rhesusaffen zu einem 15%igen Anstieg von Pulpnekrosen führte. Das Potenzial des Temperaturanstiegs hängt von der photothermalem Hitzeerzeugung ab, die entsteht, wenn ein Material Photonen absorbiert, von der insgesamt zugeführten Energie und von der exothermen Polymerisationsreaktion bei der Aushärtung des Kunstharzes [58].

## Können Polymerisationslampen einen inakzeptablen Temperaturanstieg verursachen?

Zahlreiche Publikationen weisen darauf hin, dass diese Möglichkeit absolut real ist [44,52–54,59–65]. Je höher die Strahlungsdichte der Lichtpolymerisationsgeräte ist und je länger die Polymerisationszeit ist, umso größer ist die Wahrscheinlichkeit eines Temperaturanstiegs innerhalb der Zahnpulpa und des benachbarten Weichgewebes. Erhöhte Temperaturen stellen insbesondere dann einen Grund zur Besorgnis dar, wenn bei

tiefen Kavitäten das Dentin lediglich einen minimalen Isolationsschutz liefert [52–55,59]. Bei der Markteinführung der ersten Generation von LED-Lichtpolymerisationsgeräten wurde oftmals behauptet, dass diese keinerlei Temperaturanstieg in der Zahnpulpa verursachen [53,66,67], was zu einem Marktvorteil gegenüber anderen Lichtpolymerisationsgeräten führte. Allerdings resultiert der ausbleibende Temperaturanstieg aus der äußerst niedrigen Strahlungsdichte dieser LED-Lichtpolymerisationsgeräte. Die Strahlungsdichte von LED-Lichtpolymerisationsgeräten hat inzwischen jedoch die von Plasmalichtpolymerisationsgeräten übertroffen, wodurch die potenzielle Möglichkeit der Überschreitung einer kritischen Temperatur innerhalb der Pulpa und Gingiva sich ebenfalls erhöht hat, was durchaus einen Anlass zur Besorgnis darstellt.

## Prüfung auf Temperaturerhöhungen

Patienten, die oftmals anästhesiert sind, können keinerlei verlässliches Urteil darüber fällen, ob ihr Gewebe zu stark erhitzt wird. Momentan existiert keine praktische Methode, um den durch die Lichtpolymerisationsgeräte im Mundraum verursachten Temperaturanstieg zu kontrollieren. Allerdings können Zahnärzte mit den Lichtpolymerisationsgeräten ihren eigenen Handrücken mit derselben Dauer bestrahlen, die auch beim Patienten angewandt wird. Dies erlaubt eine ungefähre Vorstellung des möglichen Temperaturanstiegs, der durch die Lichtpolymerisationsgeräte im Mund hervorgerufen wird.

## Eine Lösung zur Vermeidung kritischer Temperaturerhöhungen

Ein Luftstrahl, der unmittelbar vor, während und nach der Bestrahlung auf den Zahn gelenkt wird, wird die Temperatursteigerung innerhalb der Zahnpulpa minimieren. Der Luftstrahl kann mit einer Luft-Wasser-Spritze oder dem großen Sauger erzeugt werden, welche direkt an den koronalen Teil des Zahns gehalten wird.

## Die Augen sind vor einer Gefährdung durch das Blaulicht zu schützen

Das Licht eines Lichtpolymerisationsgerätes kann für Ihre Augen eine große Gefahr darstellen. Das für die Retina schädlichste Licht ist blaues Licht mit einer Wellenlänge von etwa 440 nm, welches innerhalb der spektralen Emission der Lichtpolymerisationsgeräte angesiedelt ist [71,72]. Blaues Licht wird durch die Augenlinse geleitet und von der Retina absorbiert. Während hohe Dosen akute und irreversible Verbrennungen der Retina verursachen, kommt es bei chronischer Bestrahlung mit niedrigen Dosen blauen Lichts zu Alterung und Rückbildung der Retina. Diese chronische photochemische Verletzung des pigmentierten Epithels (Zellgewebe) und der Choroidea (Aderhaut) kann die altersbedingte Makula-Degeneration beschleunigen [72–74]. Um diese Gesundheitsrisiken zu minimieren,

sollten bei der Lichtpolymerisation Schutzbrillen, sogenannte „Blue-Blocker“, getragen werden. Diese Brillen können die Übertragung von Licht mit einer Wellenlänge unter 500 nm signifikant auf 1 % verringern [75–77]. Dieses Maß an Filterung ermöglicht es dem Behandler, den Lichthärtungsprozess sicher zu beobachten und trägt so zu einer Optimierung der Lichtpolymerisationstechnik bei [2,78,79].

## Klinische Signifikanz

Das Licht, welches von Lichtpolymerisationsgeräten emittiert wird, führt möglicherweise zu einem schädlichen Anstieg der Temperaturen innerhalb der Pulpa oder des Weichgewebes. Gegen diese Gefährdungen sind Maßnahmen zu treffen. Darüber hinaus sollten Vorsichtsmaßnahmen getroffen werden, um die Augen der Patienten, der Behandler und der Assistenz vor permanenten Schädigungen durch die Lichtpolymerisationsgeräte zu schützen.

---

## Auswahl und Verwendung eines Lichtpolymerisationsgerätes

Die Auswahl eines neuen Lichtpolymerisationsgerätes für eine Zahnarztpraxis stellt durchaus eine Herausforderung dar. Die Dentalhersteller bieten momentan eine unübersichtliche und hohe Anzahl an hochentwickelten Geräten an, welche immer höhere Strahlungsdichten ermöglichen und über vielfältige Bestrahlungsoptionen verfügen (z. B. Soft-Start, pulsierende Modi, Modi mit niedriger, hoher und „Turbo“-Leistung). Die folgenden Punkte sollten beachtet werden, wenn ein neues Lichtpolymerisationsgerät ausgesucht wird, welches Komposite angemessen und mit minimalem Zeitaufwand aushärten soll, während die Polymerisationsschrumpfungskraft minimiert und die Langlebigkeit der Füllungen optimiert wird.



*Adrian Shortall*

## Kommt es auf eine schnelle Härtung oder auf einen „sanften Start“ an?

Verschiedene Hersteller bieten leistungsstarke Lichtpolymerisationsgeräte an, welche eine adäquate Aushärtung angeblich nach 5 oder sogar nach 1 Sekunde [80] Polymerisationszeit gewährleisten sollen; hier dürften allerdings längere Bestrahlungszeiten realistischer sein [48,65, 81–83]. Die von den Herstellern empfohlenen Polymerisationszeiten basieren vielfach auf Laboruntersuchungen, die unter idealen Bedingungen und mit einem

minimalen Abstand des Lichtpolymerisationsgerätes zum Material durchgeführt wurden. Diese Bedingungen sind im klinischen Alltag selten anzutreffen. Aus diesem Grund müssen Zahnärzte die Strahlungsdichte der Lichtpolymerisationsgeräte kennen und den Abstand zwischen Lichtpolymerisationsgerät und dem zu härtenden Material berücksichtigen, um eine suffiziente Polymerisation sicherzustellen. Darüber hinaus müssen Zahnärzte die klinische Relevanz einer Soft-, Start-, Stufen- oder pulsierenden Polymerisation kritisch hinterfragen, die angeblich den Polymerisationsstress verringern und die klinische Leistung verbessern soll. Aktuelle Informationen legen nahe, dass jeglicher Nutzen aus der Verwendung dieser alternativen Bestrahlungsmodi in hohem Maß von dem individuell verwendeten Komposit, dem spezifischen Lichtpolymerisationsgerät und der klinischen Situation abhängig ist [91–97].

## Größe und Lokalisation des geplanten Polymerisationsfeldes

Turbo-Lichtleiter liefern zwar am Lichtaustrittsfenster eine höhere Strahlungsdichte, allerdings streut das Licht stärker als bei Standard-Lichtleitern [31,98–101]. Berücksichtigt man klinisch relevante Abstände, so liefert ein Standard-Lichtleiter oftmals eine signifikant größere Strahlungsdichte als ein Turbo-Lichtleiter und dementsprechend auch ein besseres Aushärtungsergebnis bei der Polymerisation des Komposites [14,91,100,103]. Auch muss der Zahnarzt sicherstellen, dass das Lichtaustrittsfenster die zu polymerisierende Fläche vollständig mit dem Licht der korrekten Wellenlänge abdeckt. Dies ist besonders dann von Bedeutung, wenn ein „Polywave“-Lichtpolymerisationsgerät verwendet wird, das räumlich und spektral eine nicht homogene Lichtabstrahlung liefert [99,104]. Derartige inhomogene Abstrahlflächen können zu einer inhomogenen Polymerisation des Komposites führen [101]. Verwendet man einen durchmesserreduzierten Turbo-Lichtleiter, der zwar eine höhere Leistung/Fläche verspricht, kann es in Folge erforderlich sein, mehrere Polymerisationszyklen durchzuführen, um die gesamte, zu polymerisierende Fläche zu belichten, während bei der Verwendung eines großflächigen Standardlichtleiters möglicherweise nur ein, nur unwesentlich längerer, Polymerisationszyklus erforderlich ist. Vor dem Hintergrund dieser breit gefächerten Anforderungen können Zahnärzte unter verschiedenen angebotenen Lichtpolymerisationsgeräten auswählen, wenn sie folgende Faktoren berücksichtigen:

## Strahlungsdichte über die Distanz

Bei einigen Lichtpolymerisationsgeräten kann die Strahlungsdichte in Nähe der Spitze hoch sein, bei zunehmender Entfernung von dieser jedoch rapide abnehmen [31,81,98,100,101,103,105,106], wodurch ein negativer Effekt auf die Polymerisation [14,91, 100,103] und auf die bereits angesprochenen Eigenschaften entstehen kann [13–17,19–24,26,28–30]. Dies ist aus klinischer Sicht dahingehend von Bedeutung, weil der Abstand zwischen der Höckerspitze und dem Kavitätenboden oftmals mehr als 7 mm

beträgt. Um den Behandler bei der Bestimmung der Eignung seiner Lichtpolymerisationsgerätes zur Härtung des Komposites bei klinisch relevanten Abständen zu unterstützen, haben Rueggeberg et al. eine einfache Modifizierung des Härtungstiefe-„Kratztests“ beschrieben [32]. Durch Abschneiden eines Endes einer Komposit-Compule und die Härtung mit einem üblichen Abstand von der Oberfläche des Materials können entsprechende Rückschlüsse auf die erreichte Tiefe der Härtung geschlossen gezogen werden.

## Intraorale Ergonomie

Licht kann nicht um die Ecke scheinen. Der Behandler muss prüfen, ob das Lichtaustrittsfenster des Lichtpolymereisationsgerätes auch die schwieriger zugänglichen Bereiche im Mundraum erreichen kann, besonders bei Patienten, die ihren Mund nicht weit genug öffnen können oder bei der Behandlung nicht stillhalten (z. B. Kinder, ältere Patienten), und dass das Lichtaustrittsfenster in einer geraden Linie auf die Oberfläche des zu polymerisierenden Komposites (bzw. Bondings) gerichtet ist. Abbildung 3a und b zeigt, wie ein Trainings- und Messgerät für Lichthärtung (MARCTM, Managing Accurate Resin Curing; BlueLight Analytics Inc., Halifax, Nova Scotia, Canada) [108] eingesetzt werden kann, um im Rahmen von Simulationen die von verschiedenen Lichtpolymerisationsgeräten gelieferte Strahlungsdichte und die Energiedichte zu messen. Hierbei wird durch Simulation klinisch relevanter Situationen die Auswirkung der Positionierung des Lichtleiters und der Erreichbarkeit der zu behandelnden Stelle auf die zugeführte Energie ermittelt.



Abb. 3a und b: Das Lichtaustrittsfenster in Abbildung a ermöglicht keinen geradlinigen Zugang zur Kavität, insbesondere, wenn der Mund nicht weit genug geöffnet werden kann. Das Lichtaustrittsfenster in Abbildung b ermöglicht einen direkten Zugang und ist demnach eventuell effektiver.

## Maßnahmen zur Kontaminationskontrolle am Lichtaustrittsfenster

Vom Standpunkt der Vermeidung von Kreuzkontaminationen sind die Lichtpolymerisationsgeräte am besten geeignet, die mit abnehmbaren und autoklavierbaren Lichtleiter ausgerüstet sind und deren Oberflächen leicht zu desinfizieren sind. Allerdings kann es bei autoklavierbaren Lichtleitern zu „Kesselstein“-ähnlichen Ablagerungen am Lichtaustrittsfenster kommen, der die Lichtleistung beeinflussen kann. Dies kann allerdings durch eine Politur des Lichtaustrittsfensters behoben werden. Verschiedene Desinfektionslösungen können die Fähigkeit der Lichtübertragung von Glasfaser-Lichtleitern negativ beeinflussen [109]. Andere Desinfektionsmittel können bei andauernder Verwendung Kunststoffgehäuse, Kunststofflinsen, Reflektoren, faseroptische Lichtleiter und elektronische Bauteile zerstören [110], weshalb auf die Verwendung eines

geeigneten Desinfektionsmittels zu achten ist. Raue Oberflächen sowie nicht wasserdichte Bedientöpfe sind besonders schwierig zu reinigen und können Flüssigkeiten aufnehmen, wodurch es zu einer Ansiedlung von Mikroorganismen zwischen Knopf und Gehäuse des Lichtpolymerisationsgerätes kommen kann. Zur Verhinderung von Kreuzkontaminationen können ferner Schutzhüllen eingesetzt werden, die das gesamte Lichtpolymerisationsgerät einhüllen. Diverse Hersteller bieten entsprechende Einweg-Kunststoffhüllen an, die einen effizienten Schutz sowohl für das Lichtpolymerisationsgerät als auch für den Lichtleiter darstellen. Auch wenn diese Hüllen die Lichtabstrahlung nicht signifikant beeinträchtigen, wird die Strahlungsdichte dennoch reduziert [111,112], insbesondere wenn die Schweißnaht der Abdeckung genau auf dem Lichtleiter zu liegen kommt.

## Sicherstellung der Leistungsfähigkeit über die Zeit (Robustheit)

Während es allgemein bekannt ist, dass die Leistung von Halogen-Lichtpolymerisationsgeräten abnimmt, je länger Lichtquelle und Filter im Einsatz sind, kann auch bei LED-Lichtpolymerisationsgeräten die Leistung infolge von Alterung oder unsachgemäßer Verwendung abnehmen. Auch wenn Handradiometer ungenau sind [113–117] und nicht die spektrale Emission von Lichtpolymerisationsgeräten wiedergeben, können sie von praktischem Nutzen sein, wenn es darum geht, langfristig die relative Leistung desselben Lichtpolymerisationsgerätes zu dokumentieren. Zahnärzte sollten für jedes Lichtpolymerisationsgerät vom Tag des Kaufs an ein Protokollheft führen, um die relative Leistung des Geräts langfristig kontrollieren zu können. Die Polymerisationszeit kann somit an die Abnahme der Leistungsfähigkeit des Lichtpolymerisationsgerätes angepasst werden, sodass ein ähnliches Energieniveau wie bei einem Neugerät erreicht werden kann. Diese Informationen, in Koordination mit Härtingstiefen-„Kratztests“ unter Verwendung heller und dunkler Farben des von Zahnarzt favorisierten Komposites unter Berücksichtigung klinisch relevanter Abstände, helfen dabei, optimale und vorhersehbare Resultate bei der Lichthärtung zu erzielen. Ein Handradiometer kann auch verwendet werden, um das Ausmaß der Leistungsreduzierung eines Lichtpolymerisationsgerätes durch eine Schutzhülle zu prüfen, sodass entsprechende Anpassungen der Belichtungszeit vorgenommen werden können [111,112,118].

## Klinische Signifikanz

Die Zahnärzte müssen sich bewusst machen, dass die vermeintlichen Vorteile der verschiedenen Belichtungsmodi nicht unbedingt klinisch bewiesen sind. Die routinemäßige Dokumentation der Strahlungsdichtewerte kann dabei helfen, eine Reduktion der Strahlenflussdichte des Lichtpolymerisationsgerätes zu identifizieren. Für den Fall, dass eine Kontaminationsschutzhülle verwendet wird, sind die Messungen auch unter Verwendung dieser Schutzhülle durchzuführen. Auf diese Weise wird es dem Behandler ermöglicht, die Belichtungszeit gegebenenfalls entsprechend anzupassen.

## Patientensimulator MARC und die vier CORE-Variablen

Die Zahnärzte übertragen routinemäßig motorische Fähigkeiten, die sie an einem Phantomkopf erlernt haben, auf den Patienten. Aus diesem Grund wurde ein vorklinischer Simulator, MARC (Managing Accurate Resin Curing), entwickelt. Hierbei handelt es sich um einen Patientensimulator mit einem fiberoptischen Spektroradiometer nach Labormaßstäben, der in einem Phantomkopf eingebaut ist, welcher in einem Zahnarztstuhl platziert werden kann. MARC misst die Strahlungsdichte, Bestrahlungsintensität und die Wellenlänge, die den Füllungen unter klinischen Bedingungen zugeführt werden. Derartige Informationen können nicht von Hand-Radiometern geliefert werden, die lediglich allgemeine und ungenaue Werte der Strahlungsdichte anzeigen [113– 117]. Die zugeführte Energiemenge liegt häufig unter der vom Behandelnden angenommenen und unter der für die Behandlung notwendigen Menge. Mit dem Einsatz vom MARC können Behandler und Lehrende problemlos die aktuell vorgenommene Polymerisationsenergie messen und klar erkennen, welchen enormen Einfluss kleine Veränderungen bei der Technik der Lichtpolymerisation auf die Aushärtung eines Kompositmaterials haben. Im Rahmen einer Studie wurden Studierende der Zahnmedizin in zwei Gruppen aufgeteilt, um den Einsatz eines Lichtpolymerisationsgerätes zu erlernen. Eine Gruppe wurde unter Verwendung von MARC instruiert, die andere übte an einem herkömmlichen Phantomkopf. Bei einem Test, der vier Monate später durchgeführt wurde, führten die Studenten, die mit MARC trainiert hatten, der simulierten Füllung mehr Energie zu als die Kommilitonen, die mit dem herkömmlichen Dummy gearbeitet hatten [119].



*Prof. Dr. Richard Price*

Ein einfaches Akronym, CORE (Curing light, Operator technique, Restoration characteristics, and Energy requirement = Lichtpolymerisationsgerät, Anwendungstechnik, Eigenschaften des Füllungsmaterials, Energiebedarf) helfen den Behandlern dabei, die Variablen zu verstehen, welche eine erfolgreiche Lichthärtung des Komposites bestimmen [120]. Jede dieser Variablen ist vom Behandler zu überwachen und zu beherrschen, um sicher zu stellen, dass die vom Hersteller angegebenen Materialeigenschaften auch tatsächlich erzielt werden können. Diese Variablen sind im Einzelnen nachfolgende:

### Lichtpolymerisationsgerät

Wie bereits angesprochen [80], existiert eine beeindruckende Bandbreite der Lichtleistung, die aktuellen und neuen Lichtpolymerisationsgeräten ausgesendet werden: Diese reicht von 400 bis 5.840 mW/cm<sup>2</sup>. Die Zahnärzte müssen die Strahlungsdichte und das Lichtemissionsspektrum ihres Lichtpolymerisationsgerätes kennen, um ein geeignetes Lichtpolymerisationsgerät auszuwählen (Matchen des im Komposit verwendeten Photoinitiators und des Emissionsspektrums der LED – blau, violett, ...) und die erforderliche Polymerisationszeit an das verwendete Kompositmaterial anzupassen.

## Anwendungstechnik

Zahnärzte würden niemals eine Behandlung durchführen, ohne die behandelte Stelle im Auge zu behalten. Abbildung 4 zeigt allerdings, was während der Lichthärtung oftmals passiert; der Behandler schaut weg, um eine Schädigung der Augen durch das helle Licht zu verhindern. Die MARC-Trainingseinheit konnte demonstrieren, dass die zugeführte Energiedichte in Abhängigkeit von der Anwendungstechnik um den Faktor 10 variieren kann, auch wenn dasselbe Lichtpolymerisationsgerät mit derselben Polymerisationszeit am selben Zahn angewendet wurde. Abbildung 5 zeigt die Strahlungsdichte und die Energiedichte, die von 10 Zahnärzten unter Verwendung desselben Lichtpolymerisationsgerätes an demselben Zahn und mit derselben Polymerisationszeit zugeführt wurden. Beim ersten Test waren extreme Unterschiede bei der zugeführten Strahlungsdichte zu beobachten, woraus der bis zu 10-fache Unterschied bei der zugeführten Energiedichte resultierte [2]. Nach einer Instruktion zur korrekten Anwendungstechnik und einem unmittelbaren Feedback unter Verwendung von MARC gab es deutlich weniger Unterschiede bei der Strahlungsdichte. Zudem erhöhte sich die verabreichte Lichtdosis signifikant.



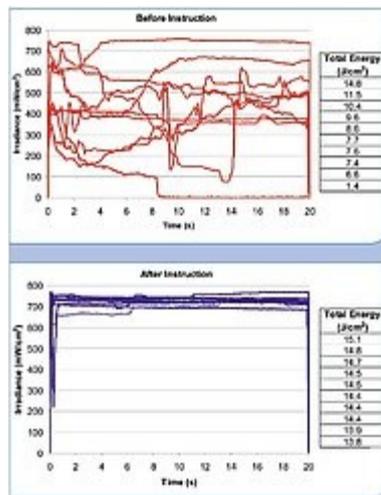


Abb. 4: Typische Situation bei der Lichthärtung – der Behandler schaut weg.

Abb. 5: Beispiele für Variationen der Strahlungsdichte (die Höhe des Messpunktes zu jedem einzelnen Zeitpunkt) und Energiedichte (der gesamte Bereich unterhalb jeder Linien für die Strahlungsdichte, vom Beginn bis zum Ende der Belichtung), welche von Zahnärzten bei einer Simulation mit MARC vor (oben, rot) und nach (unten, blau) dem Erhalt von Instruktionen durchgeführt wurden.

## Restaurationsmaterial-spezifische Besonderheiten

Wie bereits angemerkt, ist die Berücksichtigung Restaurationsmaterial-spezifischer Besonderheiten von Kompositen zur Bestimmung der Polymerisationszeit wichtig. Das zu polymerisierende Komposit (oder Bonding) muss einen direkten, unverschatteten Zugang zum vom Lichtaustrittsfenster abgestrahlten Polymerisationslicht haben. Das Lichtaustrittsfenster sollte so nahe wie möglich und möglichst senkrecht über der Oberfläche des Komposites positioniert werden.

## Energiebedarf

Der Behandler muss den Polymerisationsenergiebedarf und die Wellenlänge kennen, die ein Komposit benötigt, um eine angemessene Aushärtung zu gewährleisten. Wie bereits beschrieben, darf nicht angenommen werden, dass sämtliche Farben und Opazitäten eines Komposites dieselbe Belichtungszeit erfordern. Die Herstellerhinweise zu den jeweiligen Kompositarten und -farben sind unbedingt zu beachten, da es in der Bandbreite der angebotenen Kompositmaterialien und -farben zu einem bis zu achtfachen Unterschied in der erforderlichen Belichtungszeit kommen kann [47].

## Klinische Signifikanz

MARC ist ein Instrument zur Energiemessung mit Laborqualität, welches dem Behandler dabei hilft, die beschriebenen CORE-Variablen zu berücksichtigen. Da nun die zugeführte Energie gemessen werden kann, ist es möglich, die Technik der Lichthärtung zu kontrollieren und dabei eine optimale Polymerisation zu erreichen und einen langfristigen klinischen Erfolg der Restauration sicher zu stellen.

## Klinische Ratschläge für bessere Ergebnisse

Die in dieser Schrift präsentierten Fakten konnten dazu verwendet werden, praktische Ratschläge und Richtlinien zu entwickeln, welche bei Befolgung zu einer suffizienten Polymerisation der Kompositmaterialien und der Adhäsive beitragen.



*Prof. Dr. Howard Strassler*

- Die Augen jeder Person, die während des Arbeitsprozesses direkt der hellen blauen Strahlung ausgesetzt sind, sind durch das Tragen von geeigneten orangefarbenen (Blue-Blocker) Schutzbrillen zu schützen.
- Der Patient ist so zu positionieren, dass die behandelnde Person die Füllung sehen kann und die Lichthärteeinheit die zu behandelnde Stelle erreichen kann.
- Vor der Verwendung ist die Spitze der Lichthärteeinheit auf Beschädigungen und Verunreinigungen durch vorher verarbeitete Materialien zu untersuchen. Wenn nötig ist das Gerät zu reinigen oder auszutauschen.
- Wählen Sie ein geeignetes Lichtpolymerisationsgerät, eine passende Anwendungstechnik (z. B. Abstützen, Gerät erst Einschalten, wenn es am Zahn positioniert ist ...) und die richtige Polymerisationszeit, um eine adäquate Energiedosis der geeigneten Wellenlängen zu verabreichen.
- Positionieren Sie die Mittelachse des Lichtaustrittsfensters unmittelbar senkrecht über der Oberfläche des Komposites; das Lichtaustrittsfenster sollte eine Parallele zu dieser Oberfläche bilden.
- Beobachten Sie das Arbeitsgebiet bei der Polymerisation durch eine Schutzbrille oder durch einen Schutzschild.
- Stabilisieren Sie das Lichtpolymerisationsgerät und beginnen Sie mit der Härtung erst, wenn sich die Spitze in einem Abstand von 1 mm von dem Komposit befindet. Wenn die Oberfläche dann nach einer Sekunde ausgehärtet ist, ist das Lichtaustrittsfenster des Lichtpolymerisationsgerätes so nahe wie möglich an die zu polymerisierende Stelle zu führen. Auf diese Weise wird besonders bei längeren Polymerisationszeiten verhindert, dass ungehärtetes Komposit oder Bonding am Lichtaustrittsfenster anhaftet.
- In Fällen, in denen ein direkter Zugang zum Komposit nicht möglich ist, ist das Lichtaustrittsfenster um entsprechende Hindernisse herumzuführen und eine zusätzliche bucco-linguale Belichtung durchzuführen.
- Vermeiden Sie bei der Arbeit mit einer Hochleistungs- Lichtaustrittsfenster eine Überhitzung des Zahns, insbesondere bei längeren Bestrahlungsdauern.

- In Abhängigkeit von der Wärmeerzeugungskapazität des Lichtpolymerisationsgerätes ist der Zahn mit einem direkten Luftstrahl zu kühlen oder es ist zwischen den jeweiligen Polymerisationszyklen eine Pause einzulegen.

## Klinische Signifikanz

Der Behandelnde sollte den einfach erscheinenden Lichthärtungsprozess nicht unterschätzen.

### Schlussfolgerungen

Lichthärtende Komposite funktionieren klinisch nur dann gemäß den Herstellerangaben, wenn ihnen die erforderliche Energiemenge in sehr speziellen Wellenlängen zugeführt wird. Dies bedeutet, dass Strahlungsdichte, Bestrahlungsdauer und spektrale Emission des Lichtpolymerisationsgerätes an die Anforderungen des Komposites angepasst werden müssen. Viele Lichtpolymerisationsgeräte in Zahnarztpraxen auf der ganzen Welt liefern keine ausreichende Strahlungsdichte und die Polymerisationstechniken, welche von vielen Behandelnden angewandt werden, können hochgradig ineffizient sein. Im Zusammenhang mit den heutzutage eingesetzten Lichtpolymerisationsgeräten muss die Hitzeerzeugung kontrolliert werden. Ferner sind entsprechende Vorsichtsmaßnahmen zum Schutz der Augen zu treffen. Es wurden in dem Beitrag Kriterien für die Auswahl eines Lichtpolymerisationsgerätes erarbeitet, die primär auf den praktischen Anwendungsmodalitäten beruhen. Schließlich sind die vier CORE-Variablen herauszustellen, die, zusammen mit einigen einfachen weiteren Schritten, dazu beitragen, sichere und langlebige Kompositrestaurationen einzusetzen.

---

### Zusätzliche Angaben:

**Richard Price** ist Erfinder von MARC, einem Gerät, das der Dalhousie Universität zur Verfügung gestellt wurde und in der Folge von BlueLight analytics, inc. vermarktet wird. Er ist Anteilseigner von BlueLight analytics inc.

Die Forschungen von **Dr. Frederick A. Rueggeberg** wurde von den folgenden Unternehmen gefördert: Kerr, 3M/ESPE, Ultradent, BISCO, Ivoclar/Vivadent, L.D. Caulk, Dentsply de Trey, Heraeus Kulzer, Coltene/Whaledent and Kuraray/Noitake.

Näheres zum Autor des Fachbeitrages: **Prof. Dr. Jack L. Ferracane** - **Prof. Dr. David C. Watts** - **Prof. Dr. Nasser Barghi** - **Prof. Dr. Claus-Peter Ernst** - **Prof. Dr. Frederick A. Rueggeberg** - **Adrian Shortall** - **Prof. Dr. Richard Price** - **Prof. Dr. Howard Strassler**

Bilder soweit nicht anders deklariert: Prof. Dr. Jack L. Ferracane , Prof. Dr. David C. Watts , Prof. Dr. Nasser Barghi , Prof. Dr. Claus-Peter Ernst , Prof. Dr. Frederick A. Rueggeberg , Adrian Shortall , Prof. Dr. Richard Price , Prof. Dr. Howard Strassler