Lichtpolymerisation: Update und Möglichkeiten zur Optimierung

Bei der Lichthärtung zahnärztlicher Kompositmaterialien können sich leicht Fehler einschleichen, die die Langlebigkeit der Restaurationen beeinflussen. In diesem Beitrag werden die wichtigsten Aspekte für eine sichere Polymerisation lichthärtender Kompositmaterialien dargestellt.

Text: OA Dr. Uwe Blunck, Berlin

Die Lichthärtung zahnärztlicher Materialien ist ein entscheidender Bestandteil der Füllungstherapie am Patienten. Es wird aber diesem Arbeitsschritt leider nicht immer die volle Aufmerksamkeit geschenkt, die für eine sichere Aushärtung nötig wäre[19] und er wird in vielen Praxen an die ZFA delegiert, die damit eine große Verantwortung übernimmt. Denn die Oberfläche lichthärtender Komposite erscheint schon nach kurzer oder unzureichender Belichtung hart, aber die physikalischen Werte wie die erzielte Härte – vor allem am Kavitätenboden –, die Biegefestigkeit sowie die Abrasionswerte, die letztendlich über die Langzeitperspektive der Restauration entscheiden[17], sind damit noch nicht gesichert.

Lichtleistung, Lichtintensität und Bestrahlungsstärke

Zum besseren Verständnis der Problematik bei der Lichthärtung müssen drei Begriffe unterschieden werden:

» **Lichtleistung einer Lichtquelle**
Sie ist die Energiemenge, die pro Zeitspanne von einer Lichtquelle erzeugt wird, angegeben in W (Watt).

» **Lichtintensität**
Sie ist die Energiemenge pro Fläche am Lichtaustrittsfenster, die pro Zeiteinheit ausgestrahlt wird, angegeben in mW/cm².



Abb. 1: Vergleich: Unterschiedliche Durchmesser von zwei Lichtaustrittsfenstern.

» **Bestrahlungsstärke**
Sie gibt an, wie viel Lichtenergie am Wirkort also bei den Photoinitiatoren ankommt, bezogen auf die Fläche und wird daher ebenfalls in mW/cm² angegeben.

Die empfohlene Intensität in mW/cm² am Lichtaustrittsfenster eines Lichtgerätes sollte zwischen 800 und 1.500 liegen[13]. Dieser Wert allein sagt aber noch nichts aus, denn er berechnet sich ja aus der Lichtleistung der Lichtquelle bezogen auf die Fläche des Lichtaustrittsfensters: Kleinere Durchmesser haben somit bei gleicher Lichtleistung der Lichtquelle eine höhere Intensität, allerdings auch nur eine eingeschränkte Beleuchtungsfläche (Abb. 1).

Lichthärtende Komposit-Füllungsmaterialien

Um die physikalischen Eigenschaften lichthärtender Komposit-Füllungsmaterialien voll nutzen zu können, müssen sie zu Polymeren vernetzen, indem Radikale die Doppelbindungen an den Monomeren aktivieren. Die Radikale werden durch Einwirkung spezifischer Wellenlängen auf die Photoinitiatoren aktiviert. Diese Wellenlängen werden Absorptionsspektren genannt und müssen zu den Emissionsspektren der Lichtgeräte passen. Sie sind also entscheidend für die sichere Aushärtung des Kompositmaterials, bereiten aber für das menschliche Auge enorme Probleme[23], denn gerade der blaue Wellenlängenbereich ist für die Netzhaut besonders gefährlich. Darauf weisen bereits Augenärzte hin bezüglich der ver-

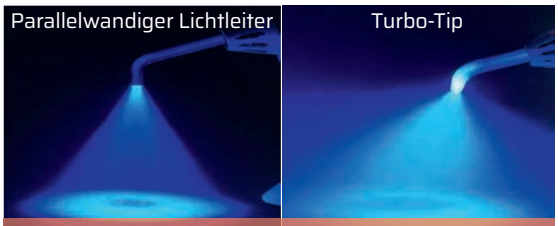


Abb 2: Lichtstreuung: Unterschiedliche Streuung parallelwandiger Lichtleiter und des Turbo-Tips.

stärkten Nutzung von weißen LEDs in unserer alltäglichen Umgebung, die ebenfalls hohe Anteile an Wellenlängen des blauen Lichtes enthalten. Das Licht der Polymerisationsgeräte kann somit langfristig zur Beeinträchtigung der Sehfähigkeit führen. Daher sind Orange-Filter unbedingt erforderlich, um die korrekte Positionierung des Lichtaustrittsfensters visuell überprüfen zu können.[15]

Belichtungsdosis oder „Total Energy Concept“

Zur sicheren Aushärtung eines lichthärtenden Kompositmaterials wird neben dem entsprechenden Absorptionsspektrum auch die genügende Menge an Radikalen in der gesamten Schichtstärke des Komposits nötig, also eine bestimmte Belichtungsdosis. Dies wird als sogenanntes Total Energy Concept beschrieben.

Die Belichtungsdosis ist dabei das Produkt aus Bestrahlungsstärke (also der Lichtenergie die auf das auszuhärtende Komposit trifft) multipliziert mit der Belichtungszeit.[6] Dabei gilt diese lineare Beziehung annäherungsweise allerdings nur im Bereich von Bestrahlungsstärken zwischen 500 und 1.500 mW/cm^2.

Für eine sichere Polymerisation der aktuellen Komposite ist für die adäquate Polymerisation eines 2 mm dicken Inkrementes eine erforderliche Energiedosis von 12.000 bis 24.000 mWs/cm^2 = 12 bis 24 J/cm^2 berechnet worden[2,3,6,16,24]. Dadurch können sich, in Abhängigkeit von der Bestrahlungsstärke des verwendeten Polymerisationsgerätes, unterschiedlich lange Belichtungszeiten ergeben. Hochvisköse Bulkfill-Kompositmaterialien liegen wegen der dickeren Schichtstärke eher im oberen Bereich, also über 20 J/cm^2[2,9].

Lichtgeräte mit hoher Intensität, um ein schnelles Aushärten in besonders kurzer Zeit zu ermöglichen, werden kritisch gesehen, da ein Initiatorsystem nur eine bestimmte Menge an Energie pro Zeiteinheit aufnehmen kann und ab einer bestimmten Bestrahlungsstärke keine weitere Erhöhung der Radikalbildung mehr erfolgt[4,8]. Außerdem ist damit auch eine hohe Wärmeentwicklung verbunden, was die Gefahr der Pulpaüberhitzung oder Verletzungen des Weichgewebes erhöht.

Polymerisations-Lichtgeräte

Seit ca. zehn Jahren sind die LEDs (lichtemittierende Dioden) der Standard in der Lichtpolymerisation[18], die mit einem relativ schmalen Wellenlängenbereich keine hohen Temperaturen an der Lichtquelle wie bei den Halogen-Lichtgeräten erzeugen. Daher können sie ohne Kühlung auskommen und als handliche Akku-Geräte angeboten werden.[5]

Die meisten LED-Polymerisationsgeräte weisen das typische enge Emissionsspektrum im blauen Wellenlängenbereich von 430 bis 490 nm auf und daher ist ihr universeller Einsatz nicht automatisch gegeben. Einige Hersteller (zum Beispiel Ultradent, Vivadent, GC) bieten sogenannte Multi-Peak-LED-Lichtgeräte an, die verschiedene LEDs für blaues und violettes Licht im Bereich von 385 bis 515 nm einsetzen und somit für alle lichthärtenden Materialien verwendet werden können[11,7].

Lichtstreuung

Ein weiteres Problem bei der Lichthärtung ist die Lichtstreuung, weil dadurch die Bestrahlungsstärke exponentiell mit der Entfernung abnimmt. Untersuchungen von Richard Price haben zeigen können, dass die Bestrahlungsstärke bei einer Entfernung von 6 mm bis um ca. 50 Prozent, bei einer Entfernung von 10 mm bis um ca. 80 Prozent abnehmen kann[10] – Entfernungen, die bei tiefen Kavitäten oder bei schwer zugänglichen Approximalflächen häufig vorliegen. Dann müssen die Belichtungszeiten entsprechend verlängert werden.

Um die Streueffekte zu minimieren, sind bei Lichtgeräten, deren LEDs direkt vorn am Lichtaustrittsfenster liegen, Linsen angebracht worden oder das Licht wird durch Faserstäbe geleitet. Dabei sind parallelwandige sinnvoller als sich zum Lichtaustrittsfenster verjüngende Lichtleiter. Diese sogenannten Turbolichtleiter streuen nämlich besonders stark und zeichnen sich bei zunehmendem Abstand zum Lichtaustrittsfenster durch einen höheren Abfall der Bestrahlungsstärke aus[10] (Abb. 2).

Um die Hygienestandards einzuhalten, sollte der Lichtleiter idealerweise aus dem Handstück entfern- und autoklavierbar sein[1]. Ansonsten sind Einmalschutzfolien einzusetzen, wobei darauf zu achten ist, dass die Schutzfolie straff über das Lichtaustrittsfenster



Abb. 3: Einfluss auf Strahlungsstärke: Ungünstig angelegte Schutzfolien, die die Bestrahlungsstärke negativ beeinträchtigen.

gespannt wird, sonst kann auch dies bereits zu einer Verminderung der Bestrahlungsstärke führen (Abb. 3).

Temperaturentwicklung während der Lichthärtung

Beim Auftreffen der Lichtwellen auf das Kompositmaterial, auf die Zahnhartsubstanz und gegebenenfalls auf das benachbarte Weichgewebe kommt es zu einer Hitzeentwicklung, die vor allem in tiefen Kavitäten eine Reizung der Pulpa darstellen kann[7]. Dem kann mithilfe eines Luftstroms durch die Mehrfunktionsspritze oder den Suktor zur Kühlung entgegengewirkt werden[13]. Bei der Lichthärtung in Gingivanähe ist zu bedenken, dass das rote Gewebe die Wellenlängen des blauen Lichtes besonders gut absorbieren und es daher sogar zu Verbrennungen der Gingiva kommen kann.

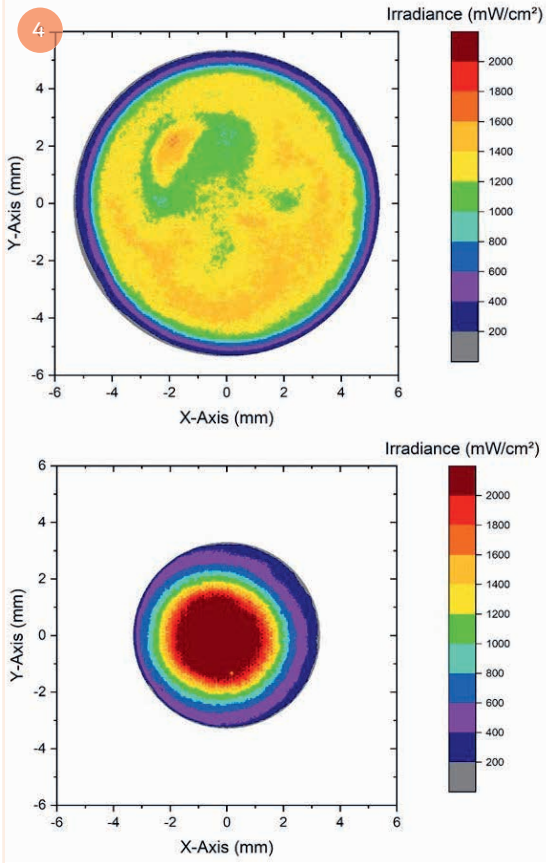
Energiestrahlprofil (Beam Profile)

Ebenso wichtig wie das Emissionsspektrum ist auch das sogenannte Energiestrahlprofil (engl. Beam Profile), die Verteilung der Bestrahlungsstärke und – bei Geräten mit unterschiedlichen LEDs – der Wellenlängen auf der Fläche des Lichtaustrittsfensters. In den Abb. 4 und 5 sind verschiedene Beam Profiles dargestellt, die deutlich zeigen, wie sehr der Durchmesser des Lichtaustrittsfensters und die gleichmäßige Verteilung der Bestrahlungsstärke auf die Lichthärtung in Standard-Kavitäten Einfluss nehmen können.

Wartung

Die benötigte Lichtmenge kann auch durch Verunreinigungen am Ausgangsfenster des Lichtleiters und durch defekte Fasern im Lichtleiter beeinflusst werden. Daher sollte auf Beschädigungen sowie Verschmutzungen des Lichtaustrittsfensters geachtet und die Intensität (Lichtleistung am Lichtaustrittsfenster) regelmäßig überprüft werden.[20] Die dazu angebotenen Lichtmessgeräte, sogenannte Radiometer, ergeben keine verlässlichen Werte[20], sie können aber den Verlauf der Lichtleistung eines Gerätes über einen längeren Zeitlauf erfassen. Innerhalb der angebotenen Lichtmessgeräte zeichnet sich zurzeit das BluePhase Meter II (Fa. Ivoclar Vivadent) durch die genauesten Werte aus[20] und es kann durch Eingabe des Durchmessers des Lichtaustrittfensters die Intensität exakter bestimmen.

4



5

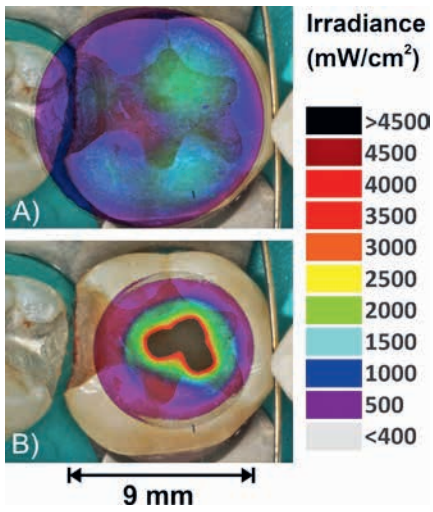


Abb. 4: Farbverteilung: Beam Profiles verschiedener Lichtgeräte, je mehr unterschiedliche Farben dargestellt werden, desto weniger gleichmäßig ist die Verteilung der Intensität.

Abb. 5: Strahlungsleistung: Verteilung der Bestrahlungsstärke in der Kavität in Abhängigkeit vom Durchmesser und den Beam Profiles von zwei verschiedenen Lichtgeräten.

Auswahl eines Lichtgerätes

Bei der Auswahl des Lichtgerätes sollte bedacht werden, dass nicht zertifizierte Billigangebote nur auf Kosten der Qualität der LEDs und der verwendeten Elektronik möglich sind. Es empfiehlt sich daher, Markenprodukte zu wählen, die durch eine hohe Qualitätskontrolle eine sichere Anwendung ermöglichen.[13]

Bei der Auswahl sollte auf folgende Aspekte geachtet werden[14]:

- Die Leistung des Gerätes (mW) gibt mehr Auskunft über die Wertigkeit als die Intensität!
- Entscheidend ist der Durchmesser des Lichtaustrittsfensters. Empfohlen werden Durchmesser ab ca. 10 mm.
- Die Intensität sollte zwischen 800 und 1.500 mW/cm² liegen.
- Wichtig ist eine geringe Streuung des Lichtes mit zunehmender Distanz!
- Das Emissionsspektrum und die benötigten Wellenlängen zur Aushärtung des angewendeten Kompositmaterials sollten übereinstimmen!
- Die Verteilung der Lichtenergie auf der Fläche des Lichtaustrittsfensters, Beam Profile, sollte gleichmäßig sein!

Ein weiteres Kriterium ist die Form des Lichtleiters. In der Kinderbehandlung und bei Patienten mit geringer Mundöffnung sowie beim Einsatz im posterioren Zahnreihenbereich empfehlen sich an der Spitze verkürzte Lichtleiter oder die Geräte mit LEDs direkt am Lichtaustrittsfenster (Abb. 6).

Probleme der Anwendung

Studien von Richard Price konnten an Phantomköpfen mit eingebauten Photosensoren eindrucksvoll nachweisen, dass es nicht einfach ist, eine optimale Belichtung am Boden einer Klasse-I-Kavität sicherzustellen, und dass die Ergebnisse zwischen den verschiedenen Anwendern große Streuung aufzeigen[12] (Abb. 7). Dabei konnte auch gemessen werden, dass bereits ein Winkel von 30 Grad zu einer Abnahme der Bestrahlungsstärke um 26 Prozent führt[12]. Außerdem kommt es bei schrägen Lichteinfallswinkeln zu Schattenbildungen in der Kavität, wodurch eventuell Teile des Komposits gar nicht vom Licht erreicht werden.



Abb. 6: Optimale Bestrahlung: Darstellung der unterschiedlichen Winkelung von Lichtleitern, die verschieden starke Mundöffnungen benötigen zur Lichthärtung im posterioren Seitenzahnbereich.

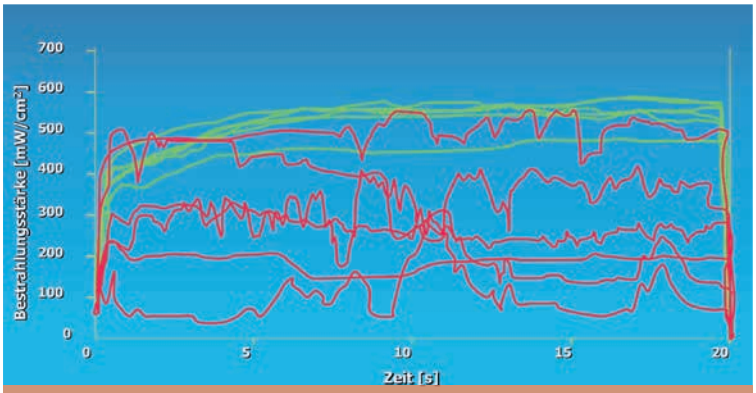


Abb. 7: Messung: Aufzeichnung der Bestrahlungsstärke am Boden einer 4 mm tiefen Kavität bei Anwendung eines Lichtgerätes durch verschiedene Studienteilnehmer (rot vor und grün nach Instruktion zur korrekten Abstützung).

Zur Sicherstellung einer effektiven Lichthärtung des Komposits kann es daher nötig sein, diese in mehreren überlappenden Zyklen durchzuführen. Die effektive Lichthärtung kann auch unterstützt werden, wenn nach Abnahme des Metall-Matrizenbandes nochmals der approximale Kasten von bukkal und oral belichtet wird.[21,22]

Leitlinien

Zur sicheren Lichthärtung sollten folgende Hinweise beachtet werden:[13]

- regelmäßig die Intensität des Lichtgerätes prüfen,
- das Lichtaustrittsfenster auf Verunreinigungen kontrollieren,
- die korrekte Belichtungszeit für das spezifische Kompositmaterial wählen,
- das Komposit in der korrekten Schichtstärke applizieren,
- die Entfernung zwischen Lichtaustrittsfenster und Komposit berücksichtigen und entsprechend die Belichtungszeit verlängern,
- darauf achten, dass das applizierte Kompositmaterial vollständig vom Licht erfasst wird,

- mögliche Hitzeschäden bedenken, ggfs. vermindern mit Mehrfunktionsspritze oder Suktor und
- die Augen schützen.

Fazit

Damit ein Kompositmaterial seine vollen Eigenschaften entwickeln kann, muss die Polymerisation zu einer optimalen Vernetzung der Monomere führen. Bei lichthärtenden Produkten muss dazu eine ausreichende Belichtungsdosis das Kompositmaterial erreichen, die sich aus dem Produkt der Bestrahlungsstärke (mW/cm²) und der Belichtungszeit berechnet. Die wirksame Bestrahlungsstärke wiederum ist abhängig von

- der Intensität des Gerätes,
- der Entfernung vom Lichtaustrittsfenster,
- dem Winkel der Einstrahlung und
- der Schichtstärke des applizierten Kompositmaterials.

Das kann nur mit visueller Kontrolle des Belichtungsvorgangs mit Augenschutz erfolgen.

Die Lichtpolymerisation ist also ein komplexer Vorgang, dem genügend Aufmerksamkeit gewidmet werden muss! Es kommt somit nicht auf eine möglichst schnelle, sondern auf eine vollständige Aushärtung an, um dauerhafte Restaurationen erfolgreich legen zu können. ■

Das Literaturverzeichnis ist bei der Redaktion erhältlich.

Dieser Beitrag ist im Zahnärzteblatt Baden-Württemberg 7/2023 erschienen. Wir danken für die Nachdruckerlaubnis.

Autor

OA Dr. Uwe Blunck
Abteilung für Zahnerhaltung,
Präventiv- und Kinderzahnmedizin
Charité–Universitätsmedizin
Berlin