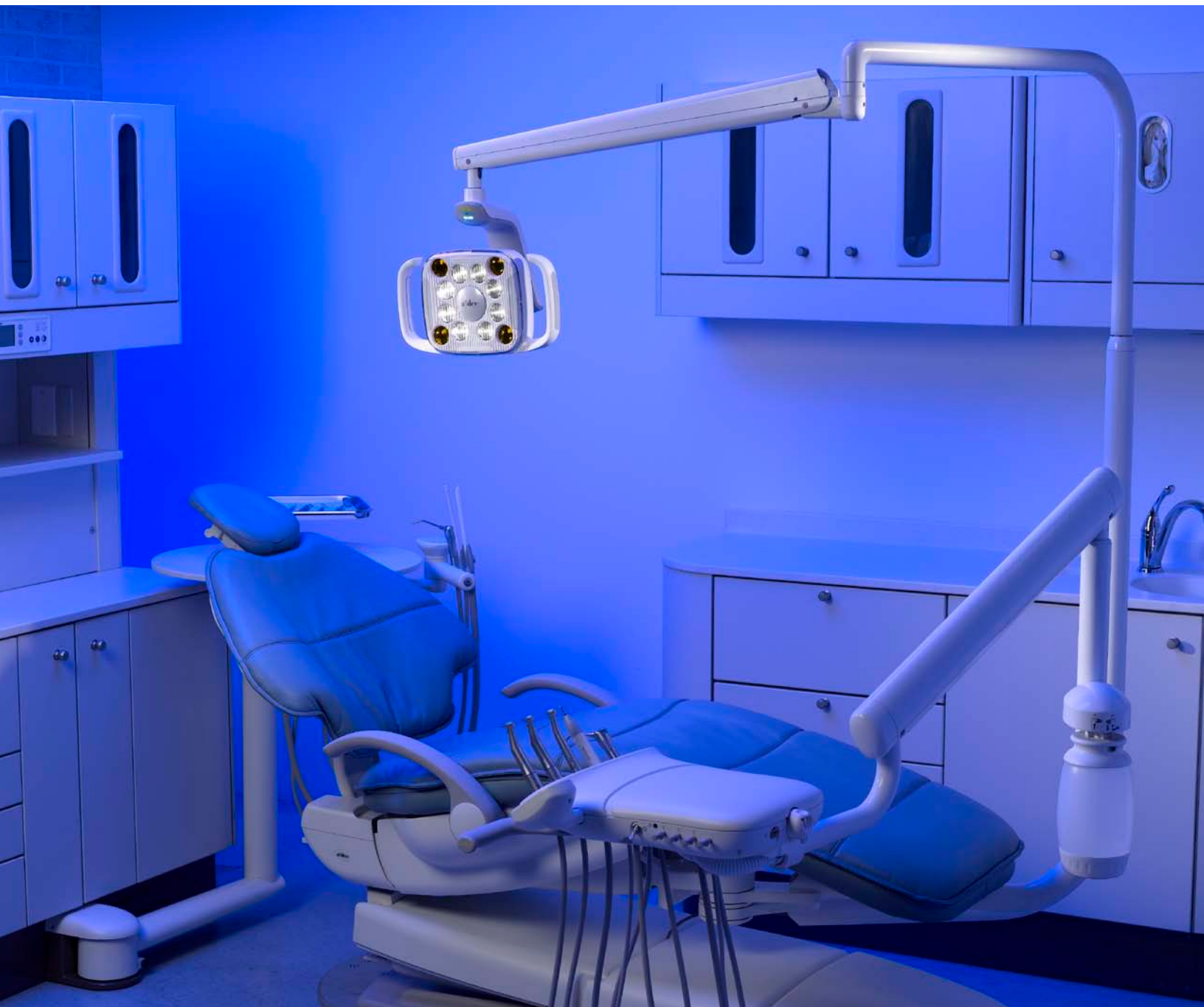




WHITEPAPER

Einsatz von Leuchtdioden bei der Beleuchtung in
zahnärztlichen Behandlungsräumen



INHALTSVERZEICHNIS

Hintergrundinformationen	3
Ziel dieses Whitepapers	3
Wichtige Anforderungen von Beleuchtungssystemen	4
Lichtmenge	4
Lichtqualität	4
Farbe.....	5
Ähnlichste Farbtemperatur	5
Farbwert	6
Farbwiedergabeindex	6
Gleichförmigkeit und Einheitlichkeit des Lichts	7
Schattenbildung.....	8
Kompatibilität mit lichthärtenden Kompositmaterialien	8
Weitere wichtige Anforderungen einer OP-Lampe.....	9
Ergonomische Überlegungen zur OP-Lampe	9
Sichtschärfe und richtige Ausleuchtung	9
Positionierungsmöglichkeiten der OP-Lampe.....	10
Einfache und intuitive Steuerung der Bedienelemente	11
Infektionskontrolle	11
Problemlose Nutzung	11
Ästhetik	12
LED-Grundlagen – Vor- und Nachteile	12
Vorteile von LED-betriebenen OP-Lampen.....	12
Nachteile von LED-betriebenen OP-Lampen	13
Bibliografie.....	14

HINTERGRUNDINFORMATIONEN

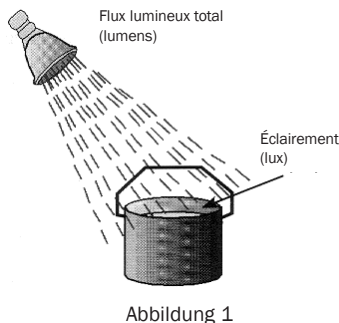
In den letzten zwei Jahrzehnten hat die LED-Technologie (Light Emitting Diode) herkömmliche Beleuchtungstechnologien (d. h. Glühlampen, Leuchtstofflampen u. Ä.) aus zahlreichen Branchen und Anwendungen verdrängt. Die potenziellen Vorteile LED-betriebener Leuchten machen diese Technologie attraktiv: hohe Lichtleistung, Flexibilität in Bezug auf Farbe, Spektrum und Intensität, geringe Strahlungswärme, längere Lebensdauer, Kompaktbauweise und geringer Stromverbrauch.

Qualität und Leistung hochwertiger LEDs haben sich in den vergangenen fünf Jahren deutlich verbessert, so dass diese Technologie nun auch bei der Beleuchtung in zahnärztlichen Behandlungsräumen zum Einsatz kommt. Derzeit werden LED-Beleuchtungslösungen von einer Vielzahl von Dentalgeräteherstellern entwickelt und vertrieben.

Nach einer kritischen Auswertung von Konkurrenzprodukten wird deutlich, dass es Herstellern jedoch noch nicht gelungen ist, erstklassige Halogenlampen zu überbieten. Dennoch erfreut sich die LED-Technologie in der Dentalbranche zunehmender Beliebtheit – sowohl bei Herstellern als auch bei Zahnärzten. In den nächsten 5 bis 10 Jahren wird die LED-Technologie so viele Verbesserungen und Innovationen entwickeln, dass Halogenlampen vom Markt für Beleuchtungen in zahnärztlichen Behandlungsräumen zunehmend verdrängt oder sogar ganz ersetzt werden.

ZIEL DIESES WHITEPAPERS

Mit diesem Whitepaper sollen drei Ziele verfolgt werden: Erstens möchte dieses Whitepaper zahnärztliches Fachpersonal über die grundlegenden Anforderungen an zahnärztliche Beleuchtungssysteme informieren. Zweitens werden in diesem Whitepaper Zusammenhänge zwischen der LED-Technologie und eben diesen Anforderungen sowie die damit verbundenen Vorteile und Kompromisse beschrieben. Und drittens – das wichtigste Ziel – sollen diese Informationen den Erwerb einer hochwertigen OP-Lampe für den Behandlungsraum anhand von umfassenden Empfehlungen und Entscheidungen unterstützen.



In erster Linie geht es um die effektive Ausleuchtung der Mundhöhle.

WICHTIGE ANFORDERUNGEN VON BELEUCHTUNGSSYSTEMEN

Eine OP-Lampe muss vor allen Dingen dafür sorgen, dass Zahnärzte ihre Tätigkeit mit maximaler Produktivität ausführen und qualitativ hochwertige Zahnpflege leisten können. Um dies zu erreichen, muss eine OP-Lampe für die entsprechende Lichtmenge, Lichtqualität und Lichtbeständigkeit sorgen. Da diese Eigenschaften subjektiv ausgelegt werden können, wird die Beleuchtungsleistung mithilfe objektiver Parameter näher beschrieben.

Lichtmenge

Mit Lichtmenge wird der einfallende Lichtstrahl auf einen bestimmten Bereich (Abbildung 1) beschrieben, z. B. in Bezug auf die Ausleuchtung der Mundhöhle.

Die Lichtmenge wird als „Lichtstärke“¹ angegeben und normalerweise in Lux (Lumen/m²) gemessen.

Eine gute Beleuchtungslösung leuchtet einen Bereich mit einer Höhe von 90–100 mm und einer Breite von 150–160 mm aus. Damit wird die Mundhöhle sowie die Mundpartie vollständig ausgeleuchtet, ohne dass die OP-Lampe neu positioniert werden muss und eine Ermüdung der Augen eintritt. Die meisten Dentalanwendungen weisen Lichtstärken von 8.000 Lux oder weniger (z. B. Weißlicht für lichthärtende Kompositrestaurationen) bis zu 30.000 Lux auf. Die letztgenannte Lichtstärke wird bei Behandlungen in der hinteren Mundhöhle verwendet, bei denen Instrumente zur indirekten Sicht und Bohrer mit Spraywasser zum Einsatz kommen (z. B. Zahnhöhlenvorbereitung an einem zweiten Backenzahn im Oberkiefer).

Im Vergleich zu den üblichen Bürogeräten bieten Dentalgeräte ein breites Beleuchtungsspektrum, das für anspruchsvollere Behandlungen wie oben beschrieben zwingend erforderlich ist. Dabei erfordern jedoch nicht alle Anwendungen ein so umfangreiches Beleuchtungsspektrum. Die Lichtmenge sollte je nach Behandlungsanforderung gewählt werden, um eine lang anhaltende Gesundheit der Augen zu fördern. ([Für weitere Informationen zur richtigen Auswahl der Beleuchtungsstufe siehe „Ergonomische Gesichtspunkte einer OP-Lampe“ auf Seite 9.](#))

Lichtqualität

Das zunehmende Bewusstsein der Bevölkerung über die Bedeutung von zahnärztlichen Diagnosen und Behandlungen sowie eine große Nachfrage nach kosmetischen Behandlungen zur natürlichen und ästhetischen Wiederherstellung tragen dazu bei, dass höchste Anforderungen an zahnärztliche Beleuchtungslösungen gestellt werden.

¹ Nach ISO 9680 muss ein Bereich von 50 mm × 25 mm zu 75 % mit maximaler Beleuchtungsstärke ausgeleuchtet werden. Die Lichtmuster der meisten Hersteller decken jedoch einen größeren Bereich ab, um Mundhöhle und Wangen der Patienten effektiv auszuleuchten.

Wie gut die Mundhöhle ausgeleuchtet wird, hängt von der Lichtquelle ab.

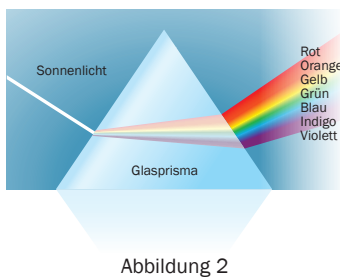


Abbildung 2



Abbildung 3

Seit Jahrzehnten sind sich Zahnärzte und die Dentalindustrie darüber einig, dass sich bei der Ausleuchtung der Mundhöhle ein neutrales Weiß am besten eignet, um Diagnosen zu erstellen und gesundes Gewebe von krankem oder beschädigtem Gewebe zu unterscheiden.

Aus diesem Grund sind Hersteller von OP-Lampen bestrebt, das natürliche Sonnenlicht so naturgetreu wie möglich in ihren Produkten nachzuahmen. Natürliches Sonnenlicht bietet ein breites, ausgeglichenes Farbspektrum (auch spektrale Strahlungsverteilung genannt) und ist für das menschliche Auge die ideale Lichtquelle für die Wahrnehmung der realen Objektfarben. Je weniger das Spektrum einer Lichtquelle vom Sonnenlicht abweicht, desto besser und genauer können Zahnärzte die Mundhöhle untersuchen und deren Zustand beurteilen. Einfacher ausgedrückt: Wie gut die Mundhöhle ausgeleuchtet und vom Zahnarzt eingesehen werden kann, hängt von der Lichtquelle ab.

Farbe

Eine der wichtigsten Anforderungen an eine OP-Lampe besteht darin, Gewebe so natürlich wie möglich aussehen zu lassen. Dieses Ziel wird mit Weißlicht erreicht. An dieser Stelle soll erwähnt werden, dass das Licht, das vom menschlichen Auge als Weißlicht wahrgenommen wird, eigentlich aus einer Mischung verschiedener Farben (d. h. Wellenlängen) besteht. Dieses Farbgleichgewicht wird mit der spektralen Strahlungsverteilung von Licht ausgedrückt.

Die spektrale Strahlungsverteilung (Abbildung 2) ist eine Art farblicher Fingerabdruck und enthält alle Informationen über die Farbzusammensetzung einer Lichtquelle. Sie dient jedoch nicht dazu, die allgemeine Farbempfindung auf einfache Weise zu interpretieren oder wiederzugeben oder die unterschiedlichen Farben der Lichtquelle zu unterscheiden. Zur einfachen Beschreibung der Farbqualität einer Lichtquelle werden in der Beleuchtungsbranche die folgenden Parameter verwendet: ähnlichste Farbtemperatur, Farbwert und Farbwiedergabeindex.

Ähnlichste Farbtemperatur

Die wahrgenommene Farbe einer Lichtquelle wird oft als ähnlichste Farbtemperatur (CCT, Correlated Color Temperature) bezeichnet. Das Konzept der Farbtemperatur basiert auf dem Phänomen, dass erhitzte Masse bei ausreichend hohen Temperatur Licht abstrahlt. Die Farbe des Lichts ist von der Temperatur abhängig, die in Kelvin (K) gemessen wird – daher der Zusammenhang zwischen Temperatur und Farbe. In Abbildung 3 wird dieser Zusammenhang in Bezug auf den „idealen schwarzen Körper“ gezeigt. In der Realität stimmen die meisten Lichtquellen nicht ganz mit den Farben des schwarzen Körpers überein, sondern können nur angenähert werden. Dies wird als ähnlichste Farbtemperatur beschrieben und bedeutet, dass es sich bei einer bestimmten Temperatur nicht um die genaue Farbe des schwarzen Körpers handelt.

Neutralweißes Licht hat eine ähnlichste Farbtemperatur von 5.000 K. Die meisten Dentalhersteller bieten Lampen mit diesem oder einem ähnlichen Wert an.

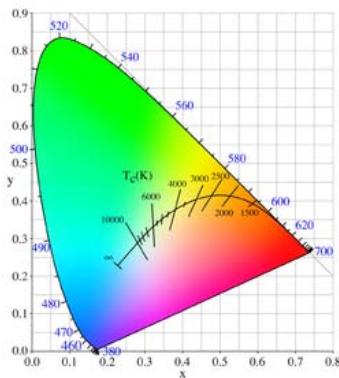


Abbildung 4

Diese Methode kann aus verschiedenen Gründen Verwirrung stiften. Im Zusammenhang mit der Farbtemperatur sollten daher folgende Faktoren beachtet werden: Zunächst wird oft davon ausgegangen, dass Licht bei der gegebenen Temperatur abgegeben wird. Das ist jedoch nicht zwingend der Fall (Wolfram besitzt von allen Metallen den höchsten Schmelzpunkt bei 3.695 K). Dann wird eine rötliche Färbung oft als warm, und blaue Farben werden oft als kalt beschrieben. Dabei weist blaues Licht eine höhere CCT als rotes Licht auf.

Die CCT ist ein wichtiges Instrument zur Messung des Farbreizes. Dennoch bietet dieser Wert keine vollständigen Informationen über die Lichtqualität. Das trifft besonders auf Lichtquellen wie LEDs zu, bei denen kein Glühfaden erhitzt wird und zu glühen anfängt, da die Farbe erheblich von der Farbe abweichen kann, die ein schwarzer Körper produziert.

Farbwert

Da sich LED-Lampen nicht so wie Glühlampen verhalten, kann das Weißlicht anhand der CCT nicht ausreichend beschrieben werden. Neben der CCT werden Farbwertanteile zur näheren Bestimmung des Lichts verwendet.

Während die CCT auf die von einem schwarzen Körper abgestrahlten Farben beschränkt ist, umfasst die Farbwertangabe alle Farben. Verschiedene Systeme stehen für die Anzeige zweidimensionaler Darstellungen von Farbwerten zur Verfügung, wobei durch jedes Koordinatenpaar eine bestimmte Farbe definiert wird. Ein Beispiel dafür ist die Normfarbtafel, ein zweidimensionales Koordinatensystem mit den Koordinaten x , y . Siehe Abbildung 4. Eine Farbe lässt sich genau durch die Koordinaten x und y festlegen.

Die in dieser Abbildung verlaufende Kurve enthält die Temperaturwerte, die von einem idealen schwarzen Körper erzeugt wurden. Die kurzen, geraden Linien geben an, dass die CCT auf diesen Linien konstant ist. Außerdem verdeutlicht die Abbildung, dass die Farbqualität anhand der CCT nicht ausreichend beschrieben werden kann. Betrachten wir beispielweise die Linie bei 6.000 K. An der Stelle, an der die Linie die Kurve des schwarzen Körpers schneidet, befindet sich der Weißpunkt. Verfolgt man die gerade Linie bei 6.000 K nach oben, kommt man in einen grünen Lichtbereich, und verfolgt man die Linie nach unten, kommt man in einen pinkfarbenen Lichtbereich.

Anhand von Farbwertkoordinaten lässt sich die Farbe einer Lichtquelle genauer als mit der CCT beschreiben. Der Nachteil der Farbwertanteile besteht jedoch darin, dass man ohne das Diagramm in Abbildung 4 nicht genau weiß, welche Farbe ein Koordinatenpaar beschreibt.

Farbwiedergabeindex

Während die ähnlichste Farbtemperatur und der Farbwert die Farbpmpfindung einer Lichtquelle angeben, lässt sich mit dem Farbwiedergabeindex (Ra)



Hoher Ra Quelle Niedriger Ra Quelle
Abbildung 5

beschreiben, wie natürlich eine Lichtquelle die Farben verschiedener Objekte wiedergeben kann. Wie bereits erwähnt, enthält das Sonnenlicht alle Lichtfarben (d. h. Wellenlängen), so dass die Farben von beleuchteten Objekten unverfälscht wahrgenommen werden. Durch den roten Farbanteil des weißen Sonnenlichts lassen sich alle Feinheiten des Farbtons erkennen – sämtliche Rottöne im Zahnfleischgewebe oder das große Farbspektrum, das zum Beispiel bei einem Lächeln wahrgenommen wird (Abbildung 5).

Der Farbwiedergabeindex bezeichnet die Natürlichkeit von Farbe, und somit hat Sonnenlicht einen Farbwiedergabeindex (Ra-Wert) von 100. Daraus ergibt sich, dass der Ra-Wert einer OP-Lampe so hoch wie möglich sein sollte (und die korrekte Farbe sowie die richtige Beleuchtungsstärke aufweisen muss), um den Zustand der Mundhöhle möglichst genau wahrnehmen zu können.

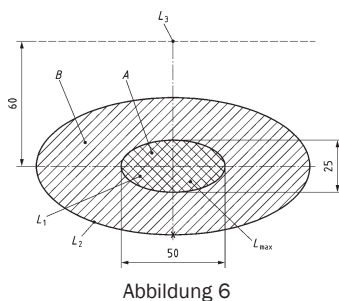
Herkömmliche OP-Lampen, wie die A-dec 6300, erreichen mit einer Quarz-Halogen-Lampe und einem dichroitischen Reflektor einen konsistenten Ra-Wert von 95 und mehr. Für LED-basierte OP-Lampen konnte bisher noch kein vergleichbarer Ra-Wert erzeugt werden. Eine Vielzahl von Produkten mit LED-Technologie weist bereits einen Ra-Wert von 90 und mehr auf, einige Leuchten fallen bei 5.000 K aber auf einen Ra-Wert von unter 80.

Da sich das menschliche Auge schnell an die Lichtumgebung anpassen kann, sind die klinischen Auswirkungen eines geringeren Ra-Wertes nicht ausreichend belegt. Untersuchungen haben jedoch bestätigt, dass das Gewebe in der Mundhöhle durch Licht mit einem hohen Ra-Wert (d. h. 90 und höher) vollständiger und genauer wiedergegeben werden kann.

Gleichförmigkeit und Einheitlichkeit des Lichts

Die Lichtleistung lässt sich weiterhin durch die Gleichförmigkeit des Lichtmusters (Abbildung 6) bestimmen. In Bezug auf die Beleuchtungsstärke soll das Lichtmuster einen klaren und einheitlichen Innenbereich aufweisen, der den gewünschten Bereich gezielt ausleuchtet.

Zum Rand des Musters hin soll die Beleuchtungsstärke stetig abnehmen, um eine Ermüdung des Auges aufgrund der häufigen Neufokussierung zum scharfen Kontrastbereich zu verhindern. ([Siehe auch „Ergonomische Überlegungen zur OP-Lampe“ auf Seite 9.](#))



Lichtmuster nach ISO 9680:2007
A Innerer Beleuchtungsbereich
B Äußerer Beleuchtungsbereich

Zudem soll das vom Licht erzeugte Muster das Auge des Patienten nicht zu sehr blenden. Gemäß ISO 9680 darf das direkte oder gestreute Licht in einem Abstand von 60 mm über der Fokusmitte (d. h. der Abstand vom Mund zur horizontalen Mittellinie der Augen) 1.200 Lux nicht überschreiten. Eine gute OP-Lampe zeigt auch unter diesem Grenzwert hervorragende Leistungen. Dennoch können nicht alle OP-Lampen, darunter auch LED-basierte OP-Lampen, diese Anforderung erfüllen.

Die Lichtquelle sollte einen Durchmesser von mindestens 150 mm abdecken, um mit dem Lichtmuster einen „Flutlichteffekt“ zu erzeugen.

Schattenbildung

Eine OP-Lampe muss Schatten optimal ausgleichen können, um zu einer guten Körperhaltung des behandelnden Teams beizutragen und seine Produktivität zu verbessern. Der Leuchtenkopf muss so ausgelegt sein, dass das Lichtfeld bei partieller Blockierung keinen übermäßigen Schatten wirft oder die Beleuchtung erheblich reduziert, so dass das zahnärztliche Team nicht in seiner Tätigkeit eingeschränkt wird (beispielweise durch Anpassung der OP-Lampe) oder eine schlechte Körperhaltung einnehmen muss.

Um die Schattenbildung optimal auszugleichen, muss die OP-Lampe sowohl vertikal als auch horizontal breit genug sein, damit im Licht befindliche Objekte (wie Instrumente oder Hände) keine störenden Schatten werfen. Der Standardabstand zwischen OP-Lampe und Mundhöhle beträgt 700 mm, und die Lichtquelle sollte einen Durchmesser von mindestens 150 mm abdecken, um mit dem Lichtmuster einen „Flutlichteffekt“ zu erzeugen. Diese Werte können entweder mit einem großen Reflektor oder mit einem breiten Leuchtzellenfeld erreicht werden.

Kompatibilität mit lichthärtenden Kompositmaterialien

In der modernen Zahnmedizin hat der Einsatz photochemisch initiiert Materialien stark zugenommen. Beliebt sind vor allen Dingen lichthärtende Kompositharze, die durch ein natürliches Erscheinungsbild überzeugen, einfacher anzuwenden und länger haltbar sind und nicht die Mängel von quecksilberhaltigem Amalgam aufweisen.

Zu den am häufigsten verwendeten Photoinitiatoren in lichthärtenden Dentalmaterialien (Kompositrestaurationen, Dichtmassen, Kleber für Zahnsplanken u. Ä.) gehört Kampferchinon. Die Härtung von Kampferchinon findet im blauen Spektrum statt (sichtbares Licht mit einer Wellenlänge von weniger als 500 nm). In hellem, weißem Licht kann eine vorzeitige Härtung einsetzen. Grund dafür ist, dass weißes Licht Anteile aus dem blauen Spektrum enthält. Eine vorzeitige Härtung kann negative Auswirkungen auf die Restauration haben (Leerstellen oder Schäden) und eventuell dazu führen, dass das Material entfernt und die Restauration erneut durchgeführt werden muss.

Aufgrund der wachsenden Beliebtheit von lichthärtenden Dentalmaterialien muss eine OP-Lampe mit diesen Anwendungen kompatibel sein. Hersteller von halogenbasierten OP-Lampen bieten eine Funktion zur Anpassung der Lichtstärke an, damit die Benutzer die Lichtstärke reduzieren können. Dadurch bleibt dem Zahnarzt zwar mehr Zeit für das Auftragen und die Härtung von lichthärtendem Harz, das Risiko einer vorzeitigen Reaktion kann mit dieser Technologie jedoch nicht vollständig ausgeschlossen werden. Um eine vorzeitige Härtung zu vermeiden, richten Zahnärzte die OP-Lampe vom Patienten weg oder schalten sie aus.

LED-basierte OP-Lampen sind für diesen Anwendungsbereich besonders gut geeignet. Im Leuchtkopf einer LED-basierten OP-Lampe können sich mehrere LEDs befinden, so dass sich die blauen Anteile im weißen Licht mithilfe eines bestimmten Modus reduzieren (durch Mischung mehrfarbiger LEDs) oder vollständig eliminieren lassen (mithilfe von Filtern oder durch Weglassen weißer LEDs). Das Lichtmuster ist in diesem Fall zwar nicht weiß, aber Zahnärzte können wichtige Restaurationen bei vollständiger Ausleuchtung der Mundhöhle ohne Risiko vornehmen.

WEITERE WICHTIGE ANFORDERUNGEN EINER OP-LAMPE

Eine der wichtigsten Anforderungen an eine OP-Lampe ist die optimale Ausleuchtung der Mundhöhle. Daneben müssen jedoch auch andere Anforderungen des Zahnarztteams und an die Behandlungsumgebung erfüllt werden. Dazu gehören Ergonomie, Infektionskontrolle, problemlose Nutzung und ästhetisches Design, die zusammen mit einer optimalen Beleuchtung den Wert einer OP-Lampe vervielfachen.

ERGONOMISCHE ÜBERLEGUNGEN ZUR OP-LAMPE

In der modernen Zahnmedizin ist man sich bewusst, welche Bedeutung eine ergonomische Ausstattung auf das zahnärztliche Personal hat. Zahnärzte nehmen oft eine schlechte Körperhaltung in Kauf, um die Mundhöhle besser einzusehen und so eine präzise Behandlung zu gewährleisten zu können. Das kann zu chronischen Schmerzen und geringerer Produktivität und letztendlich zu einem vorzeitigen Ausscheiden aus dem Arbeitsleben führen. Die OP-Lampe spielt bei der Verbesserung der Ergonomie eine wichtige Rolle und sollte so konzipiert sein, dass eine hervorragende Sicht und eine möglichst gute Körperhaltung gewährleistet sind.

Sichtschärfe und richtige Ausleuchtung

Es wurde bereits erwähnt, dass das Lichtmuster zunächst für eine vollständige Ausleuchtung der Mundhöhle sorgen muss. Dies führt zudem zu einer guten Körperhaltung und verhindert, dass die OP-Lampe neu positioniert werden muss. Nachdem diese Bedingungen erfüllt sind, muss sichergestellt werden, dass die OP-Lampe auch für die Anforderungen und Anwendungsbereiche des individuellen Benutzers ausgelegt ist.

Die richtigen Beleuchtungsstufen von OP-Lampen wurden vielfach in Forschungsarbeiten und Diskussionen erörtert. Unter Zahnmedizinern herrscht häufig die Auffassung, dass mehr Licht zu einer besseren visuellen Genauigkeit führt (also zur genauen Wahrnehmung des Gewebezustands in der Mundhöhle). Mehr Licht bedeutet jedoch nicht zwangsläufig eine bessere visuelle Genauigkeit, da sich das Auge an die Lichtverhältnisse anpassen kann (Calleja & Hernandez, 1998).

Zudem wird eine ausreichende Beleuchtung oft subjektiv empfunden und kann vom Alter, Geschlecht und ethnischer Zugehörigkeit beeinflusst werden. Und schließlich hängt die bevorzugte Beleuchtung auch von der Art der Zahnbehandlung ab. Dazu ein Beispiel: Ein männlicher Zahnarzt im Alter von 60 Jahren und mit braunen Augen, der den hinteren Mundbereich behandelt, benötigt bedeutend mehr Licht als eine junge Zahnärztin im Alter von 35 Jahren mit blauen Augen, die unter direkter Lichteinstrahlung eine Restauration im vorderen Mundbereich vornimmt. Instrumente wie beleuchtete Lupen und/oder beleuchtete Absaughandstücke können natürlich auch zu Reflektionen im Auge oder zu direkter Einstrahlung des Lichts in das Auge des Arztes führen.

Daher muss die OP-Lampe Funktionen aufweisen, mit denen die Beleuchtung je nach Bedarf angepasst werden kann, so dass nur das dem Benutzer und der Behandlung entsprechende Licht zum Einsatz kommt.

Die Beleuchtung LED-basierter OP-Lampen lässt sich im Vergleich zu herkömmlichen mit Glühlampen betriebenen OP-Lampen deutlich besser anpassen. In LED-Lampen kommen verschiedene Methoden zur Steuerung und Regulierung der Beleuchtung zum Einsatz, so dass sich die Beleuchtungsstufe ohne Änderung der Farbe des Lichtmusters anpassen lässt. Glühlampen dagegen ändern bei Anpassung der Beleuchtungsstufe die Farbe. LED-Lampen bieten Anwendern also den entscheidenden Vorteil, dass bei geringer erforderlicher Lichtintensität die Lichtfarbe nicht beeinträchtigt wird.

Zusammenfassend gilt, dass OP-Lampen über eine einfache Auswahlmethode der geringsten Beleuchtungsstufe verfügen müssen, um die gewünschten Anforderungen an die entsprechende Behandlung zu erfüllen. Dadurch wird eine Ermüdung der Augen verhindert und die Produktivität gesteigert.

Positionierungsmöglichkeiten der OP-Lampe

Grobe Positionierung der OP-Lampe Die OP-Lampe muss sich einfach aus der verstauten Position hin und her bewegen lassen. Dabei sollte die OP-Lampe über einen ausreichenden Bewegungsspielraum verfügen, um sie problemlos so verstellen zu können, dass der obere oder untere Bogen für alle absehbaren Handgriffe ausreichend beleuchtet wird. So muss auf die verschiedenen Behandlungsformen eingegangen werden können: Der Patient kann sich neben der normalen Sitzposition auch in Rückenlage befinden, oder ein Patient muss in seinem Rollstuhl behandelt werden, da er nicht in den Behandlungsstuhl umgesetzt werden kann.

Abschließend soll zur Grobpositionierung der OP-Lampe bemerkt werden, dass Bewegungsspielraum und Positionierungsmöglichkeit dem Benutzer ermöglichen sollen, die OP-Lampe aus 15 Grad jenseits der Vertikalen zu neigen (d. h. in gerader Linie mit der Sichtlinie des Bedieners), damit die ergonomische Haltung beim Einsatz von Lupen und indirekten Lichtquellen sowie bei indirekter Sicht gewährleistet wird.

Um Ermüdungser-scheinungen der Augen zu vermeiden und die Produktivität zu verbessern, muss eine OP-Lampe auch bei geringster Beleuchtungsstärke die Anforderungen des Anwenders erfüllen und die optimale Leistung entsprechend der Anwendung gewährleisten.

Ein Modus sollte sich ohne Berührung der OP-Lampe aktivieren lassen, so dass der behandelnde Zahnarzt nicht den Blick von der Mundhöhle abwenden muss.

Feinpositionierung der OP-Lampe nach dem Dreiachs-System Während einige Zahnärzte eine OP-Lampe mit zwei Achsen zur Rotation akzeptieren, ist eine OP-Lampe mit drei Drehachsen vom ergonomischen Standpunkt aus von Vorteil. Mithilfe der dritten Achse lässt sich die OP-Lampe schräg zur Mittellinie des Patienten einstellen. Diese Position verhindert die Schattenbildung im Mund und ermöglicht dem Zahnarzt, den Kopf während der Behandlung zu bewegen, ohne dabei Schatten zu werfen. Das Ergebnis: Körperhaltung und Sicht werden verbessert und die Bildung von Schatten verhindert.

Letztendlich muss eine OP-Lampe genügend Licht spenden, ohne dass sie häufig positioniert werden muss. Im Fall einer Positionierung sollten die Bewegungen intuitiv und ohne große Anstrengung möglich sein. Dank LED-Technologie können OP-Lampen mit hervorragenden Positionierungsfunktionen entwickelt werden; eine Vorteil, der jedoch noch nicht für alle Lampen realisiert wurde.

Einfache und intuitive Steuerung der Bedienelemente

Mithilfe der LED-Technologie können je nach Behandlungsanforderung verschiedene Modi ausgewählt werden (z. B. Beleuchtungsstufen, härtungssichere Beleuchtung). Trotzdem wollen sich Zahnärzte voll und ganz auf die Mundhöhle konzentrieren und sich nicht mit dem Wechsel in einen anderen Modus befassen.

Aus diesem Grund sollte sich ein Modus ohne Berührung der OP-Lampe aktivieren lassen, so dass der behandelnde Zahnarzt nicht den Blick von der Mundhöhle abwenden muss.

Infektionskontrolle

Die LED-Technologie trägt maßgeblich zur Verbesserung der Beleuchtung in zahnärztlichen Behandlungsräumen bei. Daneben werden an moderne Zahnarztumgebungen auch strenge Reinigungs- und Desinfektionsanforderungen gestellt.

Wo möglich, sollten Berührungsflächen vermieden werden, ohne jedoch eine intuitive Bedienung und Positionseinstellung einzubüßen. Formen und Konturen einer OP-Lampe sollten sich leicht abwischen lassen oder mit einer Sperrschicht versehen werden, um eine schnelle und gründliche Einstellung während der Behandlung zu gewährleisten.

Problemlose Nutzung

Das Produkt muss durch Zuverlässigkeit und Beständigkeit sowie durch einen geringen Wartungsaufwand überzeugen. Dabei gilt: Die Beleuchtungselemente einer guten LED-betriebenen OP-Lampe müssen niemals ersetzt werden. Ein robustes Design kommt ohne Komponenten wie Lüfter, Thermoschutzschalter und Glühbirnen aus, die vorzeitig versagen können.

Zudem müssen sich Reparaturen und Einstellungen einfach, direkt und kostengünstig durchführen lassen.

Ästhetik

Für die Patienten im Behandlungsstuhl gibt es kaum einen Gegenstand, der so präsent und auffällig wie die OP-Lampe ist. Daher sollte im Design der OP-Lampe das professionelle Image zum Ausdruck kommen. Einfache Formen und durchdachte Linien verleihen dem Behandlungsraum ein anspruchsvolles Erscheinungsbild mit Spitzentechnologie, das sich positiv auf die Patientenerfahrung auswirkt. Dieses Erscheinungsbild muss während der gesamten Lebensdauer der OP-Lampe von 10 bis 20 Jahren aufrechterhalten werden.

Zudem muss eine problemlose Reinigung der sichtbaren Oberflächen, z. B. von Linsenabdeckung und Reflektor, sichergestellt werden. Oberflächen müssen einfach zu reinigen oder mit einem Sperrschichtschutz versehen sein, ohne dass das Erscheinungsbild für den Patienten durch Streifen und Schmierflecke getrübt wird.

LED-GRUNDLAGEN – VOR- UND NACHTEILE

Neue Technologien, die sich auf dem Markt behaupten und vorherrschende Technologien verdrängen wollen, sind immer mit Vor- und Nachteilen behaftet. So gestaltet sich auch der Übergang von traditionellen Quarz-Halogen-Lampen zu OP-Lampen, die auf LED-Technologie basieren.

Vorteile von LED-betriebenen OP-Lampen

Mehr Licht bei geringerem Stromverbrauch. LEDs sind besonders effizient bei der Lichterzeugung. Die Technologie ist so weit vorangeschritten, dass deutlich mehr Licht bei geringerem Stromverbrauch erzeugt werden kann. Eine typische mit Glühbirnen betriebene OP-Lampe erreicht bei einer Leistung von ungefähr 100 Watt 24.000 Lux. Im Gegensatz dazu erzeugt eine LED-basierte OP-Lampe 25 % mehr Licht zu lediglich einem Fünftel der Energie. Die LED-Technologie wird kontinuierlich weiterentwickelt und in den kommenden Jahren noch effizienter sein als heute. Zahnärzte werden zugunsten des Energieverbrauchs zwar keine Beeinträchtigung bei der Beleuchtung hinnehmen, dennoch begrüßen sie die Reduzierung der Stromkosten und die Vorteile in Sachen Nachhaltigkeit.

Lange Lebensdauer, kein Auswechseln der Birnen. Selbst leistungsstarke Glühbirnen haben eine beschränkte Lebensdauer und fallen oft mitten in einer Behandlung aus. Das führt zu einem immer wiederkehrenden Kreislauf, bei dem Produktivitätseinbußen und Kosten entstehen. LED-basierte OP-Lampen dagegen können potentiell über die gesamte Produktlebensdauer betrieben werden, nämlich ungefähr 40.000 Stunden über einen Zeitraum von 20 Jahren. Dies gilt vor allem für OP-Lampen, die auf ein leistungsstarkes Wärmemanagement und auf Leistungsregelung ausgelegt sind ([Siehe „Wärmemanagement“ im Abschnitt „Nachteile“ auf Seite 13](#)). Zudem sind LEDs widerstandsfähiger und dadurch länger haltbar als herkömmliche Glühbirnen.

Wenn die am LED-Anschluss erzeugte Wärme nicht richtig abgegeben wird, kann sich die Lebensdauer der LED-Lampe erheblich verkürzen.

Keine Strahlungswärme. LED-basierte OP-Lampen produzieren keine Strahlungswärme und verhindern ein Aufheizen der Umgebung. Dadurch kommt das Zahnarztteam in seiner Schutzkleidung mit Handschuhen, Schutzbrille, Mundschutz und Kittel nicht so leicht ins Schwitzen und kann komfortabler und produktiver arbeiten.

Dieser Vorteil spielt besonders in großen Kliniken und Institutionen eine Rolle, wo viele OP-Lampen nahe beieinander aufgestellt sind. Die abgegebene Wärme von halogenbasierten OP-Lampen dagegen kann die Raumtemperatur erheblich erhöhen.

Weiterführende Anwendungen für die Beleuchtung in zahnärztlichen Behandlungsräumen Wie bereits erwähnt, können LED-Lampen mehr Licht mit mehr Effizienz produzieren, die ergonomische Körperhaltung verbessern und bestimmte Anwendungen wie Kompositrestaurationen besser unterstützen.

Nachteile von LED-betriebenen OP-Lampen

Wärmemanagement LEDs produzieren zwar keine Strahlungswärme (oder Infrarotlicht) außerhalb des sichtbaren Spektrums, aber am LED-Anschluss kommt es zur *Wärmebildung*. Wenn die am LED-Anschluss erzeugte Wärme nicht richtig abgegeben wird, kann sich die Lebensdauer der LED-Lampe erheblich verkürzen.

Durch die Clusteranordnung mehrerer LEDs (wie von einigen Herstellern durchgeführt) werden die Anstrengungen des Wärmemanagements noch verstärkt – aktive Kühlungsmechanismen wie Lüfter und Temperaturfühler sind erforderlich, die wiederum die Lebensdauer und Zuverlässigkeit der LED-Beleuchtung beeinträchtigen können.

LED-basierte Lampen, die nicht in Clustern angeordnet sind, zeichnen sich in Bezug auf das Wärmemanagement durch eine höhere Widerstandsfähigkeit aus, da sie aufgrund der geringeren Wärmeproduktion ohne aktive Kühlung auskommen.

Farbwiedergabeindex Dank technologischer Fortschritte können LED-basierte Lampen bereits einen relativ hohen Ra-Wert erreichen, dennoch werden sie von Quarz-Halogen-Lampen/dichroitischen Reflektoren mit Ra-Werten von über 97 geschlagen. Die Leistung einiger LED-Lampen reicht jedoch so nah an diese Werte heran, dass viele Zahnmediziner keinen nennenswerten Unterschied zu Quarz-Halogen-Lampen feststellen können. Die Auswahl der OP-Lampe sollte daher nach dem eigenen Empfinden und direkter Beurteilung der Lampe erfolgen.

Investitionskosten LED-basierte OP-Lampen, deren Leistung an die von OP-Lampen mit Glühlampen heran- oder über diese hinausreicht, erfordern ein höheres Maß an Technologie. LED-Komponenten sind auf einer Platine montiert und werden über eine Treiberplatine mit Strom versorgt.

**A-dec-Zentrale**

2601 Crestview Drive
Newberg, Oregon 97132
Vereinigte Staaten von Amerika
Tel.: 1.800.547.1883 innerhalb der
USA/Kanada
Tel.: 1.503.538.7478 außerhalb der
USA/Kanada
Fax: 1.503.538.0276
a-dec.com

*Internationale Vertriebszentren***A-dec Australia**

Unit 8, 5-9 Ricketty Street
Mascot, NSW 2020
Australien
Tel.: 1.800.225.010 innerhalb von
Australien
Tel.: +61.(0)2.8332.4000 außerhalb
von Australien
Fax: +61.(0)2.9699.4700
a-dec.com.au

A-dec United Kingdom

Austin House, 11 Liberty Way
Nuneaton, Warwickshire CV11 6RZ
England
Tel.: 0800.ADECUK (2332.85) innerhalb
von GB
Tel.: +44.(0)24.7635.0901 außerhalb
von GB
Fax: +44.(0)24.7634.5106
a-dec.co.uk

Zudem führen die Leistungsanforderungen an eine OP-Lampe zu einer ausgereiften Optik oder zu einem besseren Wärmemanagement.

Der Ersatz einer LED-Maschine ist (falls erforderlich) mit hohen Kosten verbunden. In Bezug auf ihre lange Lebensdauer haben LEDs wohlverdiente Anerkennung erhalten. Trotzdem muss auch erwähnt werden, dass die Reparatur von Fehlern, z. B. Überhitzung, im Vergleich zu einem herkömmlichen Glühbirnenwechsel erheblich mehr Mühe und Kosten verursacht.

BIBLIOGRAFIE

Calleja, F. R., & Hernandez, A. (1998). Conditions Required for Visual Comfort. In J. M. Stellman, *Encyclopaedia of occupational health and safety, Volume II*. Geneva: International Labour Organization.

Chu, S. J., Devigus, A., & Miesleszko, A. (2004). *Fundamentals of Color: Shade Matching and Communication in Esthetic Dentistry*. Carol Stream, Illinois, USA: Quintessence Publishing Co, Inc.

Technisches Komitee ISO/TC 106, Zahnheilkunde, Unterkomitee SC 6, Dental. (2007). ISO 9680: Zahnheilkunde - Behandlungsleuchten. Schweiz: Amt für Urheberrecht.

van Boheeman, J., Albayrak, A., Molenbroek, J., & de Ruijter, R. (2009). Adequate Dental Task Lighting. *Tijdschrift voor Ergonomie*, 14-21.

van Boheeman, J., Albayrak, A., Molenbroek, J., & de Ruijter, R. (2008). Design of a Dental Operating Light. Delft, The Netherlands: Delft University of Technology.

Wikipedia. (o.J.). *Color_Temperature*. (Zugriff 2011)
http://en.wikipedia.org/wiki/Color_temperature

Wikipedia. (o.J.). *Dichroic_Filter*. (Zugriff 2011), aus Wikipedia:
http://en.wikipedia.org/wiki/Dichroic_filter

Wikipedia. (o.J.). *Illuminance*. (Zugriff 2011), aus Wikipedia:
<http://en.wikipedia.org/wiki/Illuminance>

Wikipedia. (o.J.). *Tungsten*. (Zugriff 2011), aus Wikipedia:
<http://en.wikipedia.org/wiki/Tungsten>

Young, J. M. (1987). Intraoral dental lights: Test and evaluation. (L. J. Boucher, Ed.) *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 57 (1).