



# Gutes Licht im OP

## Entwicklung und Prüfung von Medizinleuchtensystemen

■ Jürgen P. Weißhaar und Volker Schumacher, Weingarten

*Moderne Operationsleuchten fordern die Integration einer Vielzahl hochwertiger optischer Komponenten. Die Simulation und Optimierung der Systeme unter Verwendung moderner Optiksimationstools macht die Entwicklung ausgereifter Operationsleuchten in kurzer Zeit möglich. Zur normgerechten Prüfung in Entwicklung und Produktion stehen neue Verfahren der bildgebenden Lichtmesstechnik zur Verfügung.*

Operationsleuchtensysteme werden seit vielen Jahren in sehr hochwertiger Qualität hergestellt. Eine Differenzierung am Markt oder gar die Entwicklung von Alleinstellungsmerkmalen findet in einem sehr schmalen Bereich zwischen den aktuell verfügbaren Systemen und den durch die Norm oder die Systemkomponenten definierten Grenzen statt.

Wesentliche Güteermere nach DIN EN 60601-2-41 sind die Beleuchtungsstärke im Leuchtfeldzentrum, die Geometrie des Leuchtfelds sowie spektrale Eigenschaften wie die ähnlichste Farbtemperatur oder die Farbwiedergabeindizes.

Die einfache Steigerung der maximalen Beleuchtungsstärke zur Verbesserung der Produkteigenschaften ist auf Grund

einer normativen Beschränkung auf eine maximal zulässige Beleuchtungsstärke nicht möglich. Die Optimierungen müssen im Bereich der Geometrie des Lichtfelds und bei den Farbeigenschaften vorgenommen werden. Weiterhin führen für den Einsatz in Operationsleuchten relativ neue Lichtquellen wie Gasentladungstrahler oder LEDs zu grundsätzlich neuen Systemansätzen. Die hohen Anforderungen hinsichtlich der Farbwiedergabewerte, der Redundanz des Leuchtmittels und der Hochlaufeigenschaften sind mit diesen Lichtquellen jedoch schwerer zu erreichen.

### Das virtuelle Funktionsmuster

Die Simulation der Operationsleuchten unter weitestgehender Berücksichtigung der verschiedenen fotometrischen Eigenschaften der einzelnen Komponenten macht eine präzise Vorhersage des lichttechnischen Systemverhaltens möglich, ohne dass teure und zeitaufwändige Prototypen gebaut werden müssen (Bild 1).

Kernkomponenten einer Operationsleuchte im lichttechnischen Sinn sind die

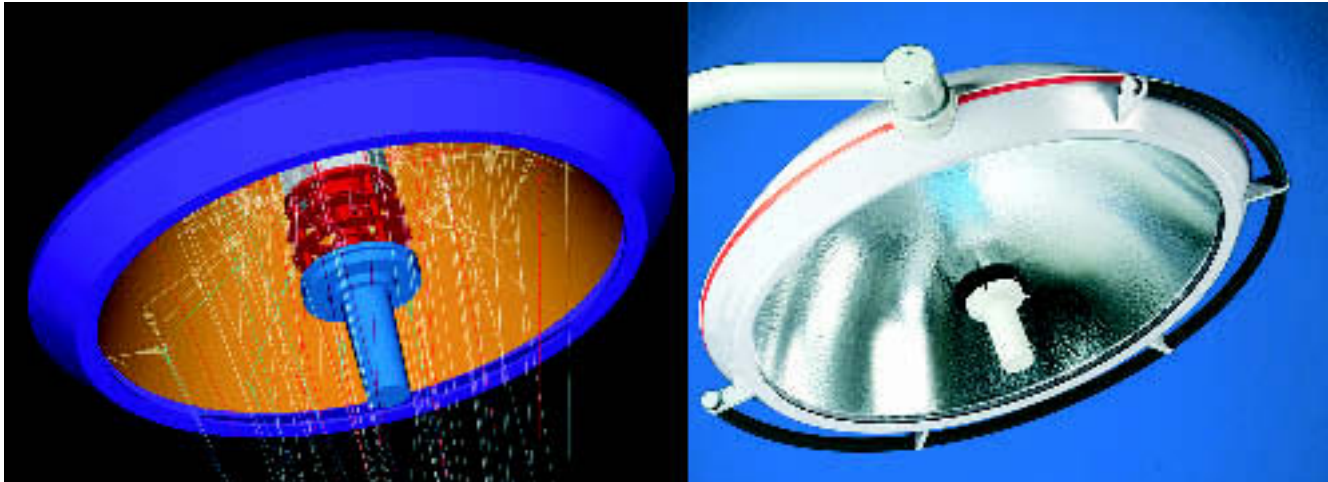


Bild 1. Simulationsmodell und Produktabbildung einer OP-Leuchte (Quelle: Opsira GmbH, Karl Leibinger Medizintechnik GmbH & Co. KG)

Lichtquelle, die Filtergläser und der Reflektor. Je nach Ausführung kommt auch dem Abdeckglas der Lichtaustrittsfläche eine lichttechnische Bedeutung zu.

Bei der Lichtquelle gilt es, die dreidimensionale Abstrahlung im Nahfeld möglichst genau zu beschreiben. Dies wird durch die Messung mit einem Nahfeld-Fotogoniometer erreicht. Aus bis zu 10 000 Leuchtdichtmessungen wird das Quellenmodell errechnet. Zur Simulation der Spektraleigenschaften ist weiterhin die Messung des Emissionsspektrums der

Lichtquelle notwendig. Die Filter spielen eine zentrale Rolle, um die geforderten Farbwiedergabeeigenschaften zu erreichen. Typischerweise handelt es sich um Wärmeabsorptionsgläser mit zusätzlicher Farbkonversionsbeschichtung. Die Farbtemperatur muss nach der neueren DIN EN 60601-2-41 zwischen 3000 und 6700 K liegen. Nach der früher gültigen DIN 5035 war eine deutlich höhere Farbtemperatur gefordert. Doch auch seit Inkrafttreten der neuen Norm gilt es als unbedingt notwendiges Qualitätskriterium, eine hohe Farbtemperatur mit der Leuchte zu erreichen.

Der Farbwiedergabeindex  $R_a$  wird größer als 85 gefordert. Hochwertige Systeme erreichen meist deutlich mehr.

Neben den farbmetrischen Eigenschaften sind die Filter für die weitgehende Eliminierung der langwelligen Wärmestrahlung verantwortlich. Diese verursacht eine unakzeptable Erwärmung des Operationsfeldes. Gute gefilterte Systeme erreichen ein fotometrisches Strahlungsäquivalent größer 250 lm/W (Lumen je Watt).

Der Reflektor ist maßgeblich für die geometrische Formung des Lichtfelds verantwortlich. Ziel ist ein möglichst tiefer Ausleuchtungsschlauch mit gaussförmigem Beleuchtungsstärkequerschnitt (Bild 2). Das Lichtfeld muss eine weiche Ausprägung ohne störende Schatten oder Sprünge aufweisen. Dies wird dank einer leicht streuenden Reflektoroberfläche und makroskopischer Geometrielemente, wie Facetten oder streifenförmige Reflektorbereiche, erreicht. Hierzu ist die Modellbildung für die Optiksimation auf der Grundlage präziser Messungen an

den Komponenten notwendig. Die Reflektormaterialien werden auf einem Streulichtgoniometer vermessen und die Streulichteigenschaften der Oberfläche in der Rechnersimulation nachgebildet. Ebenso wird die winkelabhängige Transmission der dünn-schichtbeschichteten Farbkonversionsfilter gemessen und der Simulation zu Grunde gelegt. Eine Programmierung des Schichtdesigns, also der verschiedenen Schichtmaterialien mit ihren Schichtdicken, wäre auch möglich. Meist wird jedoch diese Rezeptur der Beschichtung von den Beschichtern unter Verschluss gehalten.

Sämtliche Komponenten werden sorgfältig aufeinander abgestimmt, um ein optimales Ergebnis zu erreichen. Mittels Erfassung annähernd aller optischen Parameter in der Simulation ist es möglich, das reale Verhalten der Operationsleuchten mit über 99 Prozent Genauigkeit vorherzusagen. Um das reale System dann zu prüfen, bedarf es einer leistungsfähigen Messtechnik.

### Fotometrische Messtechnik nach neuem Stand der Technik

Die normkonforme Vermessung der Leuchtfeldgeometrie wurde bisher sehr zeitaufwändig durch händisches Abrastern von Beleuchtungsstärkewerten mit einem Fotometerkopf vorgenommen. Ebenso wurde durch iteratives Suchen die maximale Beleuchtungsstärke im Leuchtfeld ermittelt.

Neben der langen Messzeit ist das Messergebnis von der Geduld der Messperson abhängig. Umso mehr, wenn in einer Produktionsendprüfung sehr »

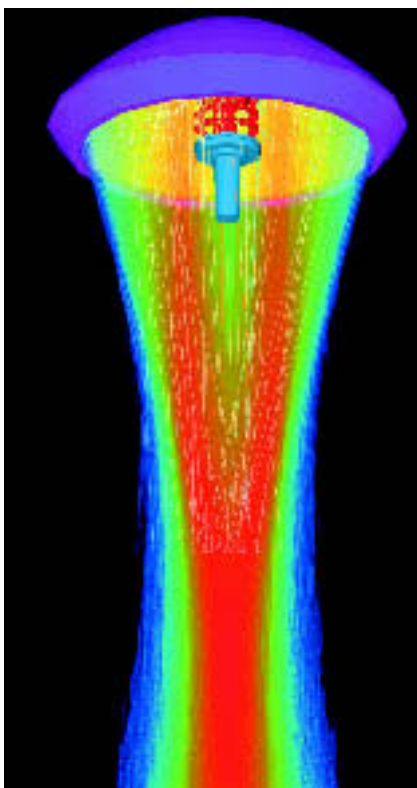
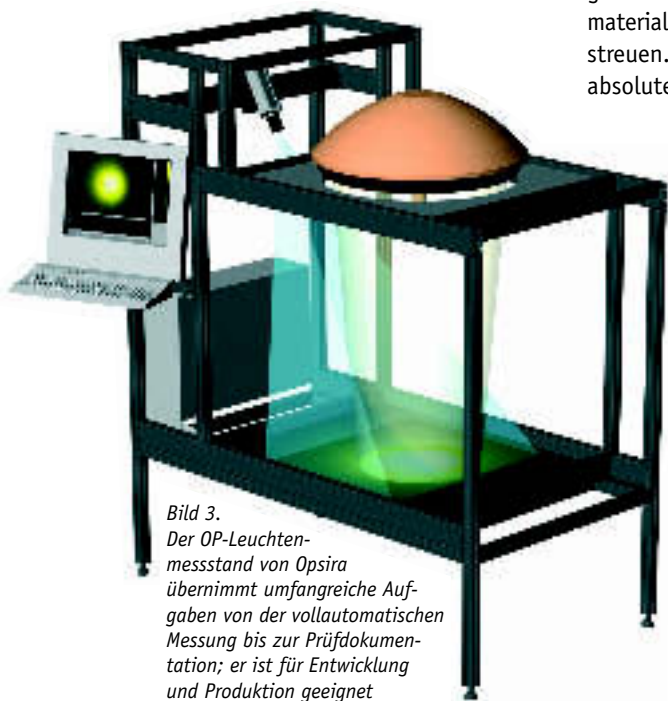


Bild 2. Typischer »Lichtschlauch« einer Operationsleuchte (Quelle: Opsira GmbH)

viele Systeme pro Tag geprüft werden müssen. Die ortsauflösende, also kamera-basierte Lichtmesstechnik liefert hier eine elegante Lösung. Das bisher mit einem diskreten Fotometerkopf aufwändig



*Bild 3.  
Der OP-Leuchten-  
messstand von Opsira  
übernimmt umfangreiche Auf-  
gaben von der vollautomatischen  
Messung bis zur Prüfdokumen-  
tation; er ist für Entwicklung  
und Produktion geeignet*

abgerasterte Leuchtfeld kann mithilfe einer Messkamera in einem Schuss aufgenommen und gemessen werden. Hierbei scheint die Operationsleuchte aus dem nach Norm geforderten Arbeitsabstand auf einen Reflexionsmessschirm. Eine Messung im Durchlicht ist ebenso möglich.

Bei der Messkamera handelt es sich um eine hochwertige CCD-Kamera, welche mit einem auf den Chip angepassten Filter auf die zur Messung fotometrischer Größen nötige spektrale Empfindlichkeit getrimmt wird. Die Messkamera sieht, wie das menschliche Auge, grundsätzlich

Leuchtdichten. Durch eine einfache Kalibrierung des Messschirms kann das Gesamtsystem zur Messung absoluter Beleuchtungsstärken einkalibriert werden. Hierbei ist darauf zu achten, dass die eingesetzten Reflexions- oder Transmissionsmaterialien möglichst perfekt »lambertsch« streuen. Nur so kann eine vergleichbare absolute Messung über verschiedene Leuchten hinweg sicher gestellt werden.

Wird wie im Prüfstand (Bild 3) im Aufricht gemessen, so nimmt die Messkamera auf Grund der schiefwinkligen Aufnahmerichtung ein verzerrtes Bild des Leuchtfelds auf. Zur Messung der einzelnen Leuchtfelddurchmesser ist jedoch ein unverzerrtes und in den Längen absolut eingeeichtes Messbild erforderlich. Hierzu wird ein Kontrollbild einer bekannten Geometrie aufgenommen, und die Messsoftware errechnet sich die zur Entzerrung notwendige Transformationsmatrix. Sämtliche folgenden Messaufnahmen werden direkt nach dem Bildeinzug mit Hilfe dieser Transformationsmatrix entzerrt und liefern somit die realen Leuchtfelddurchmesser.

Die Vermessung des Leuchtfelds läuft hierbei vollautomatisch durch die Software ab und liefert neben dem von der Norm geforderten Teildurchmesser weitere Informationen, etwa zur Rundheit des Felds. Diese Informationen können zur detaillierten Überwachung der Produktqualität eingesetzt werden (Bild 4).

Neben der aufwändigen Messung von Hand entfällt zusätzlich der Aufwand der

Prüfdokumentation weitgehend, da auch hier die Software dem Bediener den Großteil der Arbeit abnimmt. Prüfprotokolle können automatisch erstellt und gedruckt, die Daten direkt in eine Datenbank zur Überwachung der Produktqualität gespeichert werden.

Das System ist neben dem Einsatz in der Produktionskontrolle auch für den Entwickler ein leistungsfähiges Werkzeug zur schnellen Charakterisierung und Dokumentation der fotometrischen Eigenschaften der Leuchten. Die Auswirkungen von Systemänderungen können schnell überprüft, die Prüfung von Prototypenteilen schnell und reproduzierbar ausgeführt werden.

## KONTAKT

opsira GmbH,  
88250 Weingarten,  
Tel. 07 51 /5 61 -8 90,  
Fax 07 51 /5 61 -8 99,  
www.opsira.com

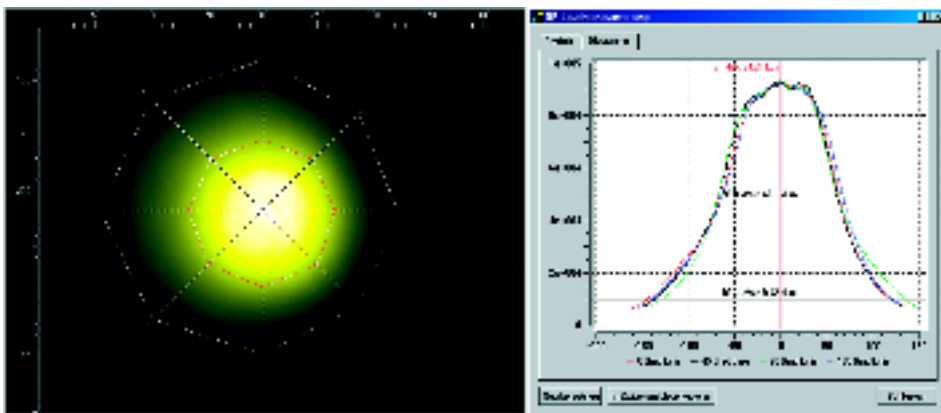
Zur Integration des Messsystems in schon vorhandene Prüf- oder Testumgebungen steht eine flexible Schnittstelle zur Messsoftware zur Verfügung. Über einen umfangreichen Satz von Befehlen kann das Messsystem über TCP/IP von einem beliebigen Rechner im LAN ferngesteuert werden.

Die angefragten Werte wie die zentrale Beleuchtungsstärke oder die Lichtfelddurchmesser werden dann, ohne dass der Benutzer direkt die Messsoftware bedient, zurückgeliefert.

## Fazit

Operationsleuchten sind hoch entwickelte Systeme und erfordern ein optimiertes Zusammenspiel einiger hochwertiger Komponenten wie Lichtquelle, Filter und Reflektor. Zur reproduzierbaren und schnellen Messung der Produkteigenschaften stehen leistungsfähige Systeme der ortsauflösenden Lichtmesstechnik zur Verfügung. Das Ziel aller dieser Entwicklungen ist, dass der reibungslose und erfolgreiche chirurgische Eingriff bei bestem Licht erfolgt. <<

■ Dipl.-Ing. Jürgen P. Weißhaar und  
Dipl.-Ing. Volker Schumacher  
sind geschäftsführende Gesellschafter bei opsira in  
Weingarten.



*Bild 4. Ergebnismaske der Prüfsoftware. Die relevanten Prüfgrößen werden automatisch gemessen und ausgewertet (Quelle: Opsira GmbH)*