

Lux Junior 2007 in Dörfeld

Thema: „Entwicklung einer LED OP-Leuchte“

Bei einer OP-Leuchte, die auf LED-Technik beruht ergeben sich einige Vor- und Nachteile, die in diesem Vortrag näher beleuchtet werden sollen.

Da die LED eine sehr kleine Lichtquelle ist, eröffnen sich im Bereich des Designs einer OP-Leuchte völlig neue Wege, die einen sehr flachen Aufbau der Leuchte von ca. 5cm erlauben. Neben der äußerst flachen Form entspricht die gewölbte Oberfläche einem Kugelausschnitt auf der Innenseite der Leuchte mit einem Radius von 1m, wodurch sich einige konstruktive und fertigungstechnische Herausforderungen ergaben. In jedem der vier Satelliten befinden sich 25 weiße, 6 rote und 6 grüne High-Power LEDs. Zusätzlich dazu wurden 14 weitere weiße LEDs um den Fokussiergriff herum angeordnet.



Die Leuchte wurde so konzipiert, dass sie den Anforderungen der DIN EN 60601-2-41:2000 gerecht wird. Diese Norm lässt aber auch einigen Spielraum für die zu erreichenden lichttechnischen Werte zu. So wird beispielsweise für die Beleuchtungsstärkewerte im Leuchtfeldzentrum in 1m Entfernung ein Bereich von 40.000 lx bis 160.000 lx vorgegeben. Die Zielvorgaben bei der Entwicklung dieser Leuchte waren, den maximalen Wert von 160 klx zu erreichen.

Neben den Beleuchtungsstärkewerten im Leuchtfeldzentrum E_c sind auch die Bereiche neben diesem Punkt von großer Bedeutung. So darf der Durchmesser des Lichtfeldes, wo nur noch 10% der maximalen Beleuchtungsstärke herrschen, nach eigenen Vorgaben 170mm nicht überschreiten. Die Norm gibt hier relative Werte vor und besagt, dass in diesem Fall der Durchmesser, wo 50% der maximalen Beleuchtungsstärke herrschen, mindestens 85mm sein muss.

Weiterhin ist es zwingend erforderlich, dass das Licht nicht nur in der Messentfernung von 1m die Normwerte erzielt, sondern auch in einem gewissen Bereich über und unter diesem Punkt. In der Norm spricht man dabei von der Tiefenausleuchtung. Für diese lichttechnischen Belange muss ein spezielles optisches System für LEDs entwickelt werden. Da Leuchtdioden eine nahezu lambertsche Lichtverteilung haben, muss das Licht gebündelt werden. Dies geschieht zunächst über eine primäre Optik, dem sogenannten Collimator, der zu einem sehr kleinen Halbwertswinkel führt.

Die flächige Ausdehnung der einzelnen LED-Module führt zu geringen Beleuchtungsstärkewerten auf einem zu großen Leuchtfelddurchmesser - die Bündelung durch die Collimatoren allein reicht nicht aus. Damit eine dennoch normgerechte Beleuchtung erfolgen kann, wird vor jedes LED-Modul eine weitere Optik zum Fokussieren auf ca. 1m Entfernung gesetzt.

Die Kombination aus LED und primärer Optik ist ein sehr empfindliches System, was sich auch bei der Entwicklung dieser Leuchte zeigte. Während der Entwicklung wurde auf eine neue LED Generation umgestellt. Die geometrischen Änderungen des LED Package waren minimal, aber die Technologie mit der das Phosphor auf die LED aufgebracht wird änderte sich drastisch. Die alten LEDs wurden mittels einer Pipette mit Phosphor versehen. Bei diesem nicht genau kontrollierbaren Verfahren wurde mehr als nur der Chip bedeckt, wodurch letztendlich eine recht große leuchtende Fläche entstand. Mit der neuen Technologie, dem Chip Coating Verfahren, ist es nun möglich sehr dünne und homogene Schichten des Phosphors nur auf den Chip selbst aufzutragen. Dadurch wurde

die lichtemittierende Fläche der LED wesentlich kleiner und die alte primäre Optik bündelte das Licht nicht mehr so, wie es ursprünglich angedacht war. Es musste also zu der neuen LED eine neue Primäroptik entwickelt werden.

Ein Nachteil der verwendeten LEDs ist, dass sie keinen ausreichend hohen Farbwiedergabeindex von $R_a \approx 80$ erzielen. Es existieren zwar Leuchtdioden mit ausreichend guter Farbwiedergabequalität, die jedoch aufgrund ihrer geringen Lichtausbeute nicht zum Einsatz kommen können. Damit hohe Beleuchtungsstärken bei ausreichender Farbwiedergabequalität erreichbar sind, werden nicht nur weiße LEDs, sondern auch rote und grüne eingesetzt. Diese Kombination führt gleichzeitig zu der normgerechten Farbtemperatur des Lichtes.

Um eine möglichst homogene Farbmischung im Operationsfeld zu erzeugen, wurden die farbigen LEDs auf den einzelnen Platinen so angeordnet, dass sich die einzelnen Farben auf gegenüberliegenden Satteliten ergänzen. So befinden sich in Satellit 1 auf Position 1 eine rote und auf Position 2 eine grüne LED. Im Satelliten 2 würde sich dementsprechend auf Position 1 eine grüne und auf Position 2 eine rote LED befinden. Für eine noch bessere und flächigere Farbdurchmischung befinden sich die roten und grünen LEDs der Satelliten 1 und 2 eher im Zentrum der LED Platinen und die LEDs der Satelliten 3 und 4 mehr im Randbereich der Platinen. Der Nachteil beim Einsatz von verschiedenfarbigen räumlich verteilten Lichtquellen ist das Entstehen von farbigen Schatten im Operationsbereich. Durch den Einsatz vieler weißer LEDs und der nicht gleichmäßigen Verteilung der farbigen Leuchtdioden konnte dieser Effekt jedoch minimiert werden.

Neben den geforderten CRI-, CCT- und Beleuchtungsstärkewerten muss eine OP-Leuchte weitere lichttechnische Anforderungen erfüllen. Dazu gehört auch eine Veränderung des Leuchtfelddurchmessers im zu operierenden Bereich. Eine Realisierungsmöglichkeit wäre die Verstellung der 4 Satelliten, wodurch sich jedoch der Schwerpunkt der kompletten Leuchte ändert. Das kann im Extremfall dazu führen, dass sich die Leuchte auf den Rücken drehen kann. Die einzige Möglichkeit das auszuschließen wäre, den Widerstand der Hemmvorrichtung zu erhöhen. Das führt jedoch dazu, dass die Leuchte vom Operator nur noch sehr schwer zu bewegen ist. Lösungsansätze ergeben sich durch Bewegen der Platinen in der Leuchte oder der Veränderung des Fokus mit einem entsprechend gearteten optischen System.

Realisiert man die Verstellung des Leuchtfelddurchmessers durch Bewegung der Satteliten selbst oder durch Bewegung der Platinen, kann sich bei der Vergrößerung des Leuchtfeldes ein Kleeblatt bilden, was aus der extremen Bündelung des Lichtes resultiert. Man muss also darauf achten, dass das Lichtfeld nicht zu stark vergrößert wird.

Da die Leuchte auch gedimmt werden soll, benötigt man eine entsprechende Ansteuerung für die LEDs. Gewöhnlich werden LEDs durch Pulsweitenmodulation gedimmt, was im OP zu Problemen führen kann. Ist die gewählte PWM Frequenz zu gering, bekommt man Probleme mit evtl. eingesetzten Bildaufnahmesystemen - wählt man sie zu hoch, kann es zu EMV-Problemen kommen. Da die Spannungs-kennlinie der einzelnen LEDs recht unterschiedlich sein kann, ist es problematisch sie über den Strom zu dimmen. Abhilfe kann hier die richtige Auswahl der Leuchtdioden schaffen, die in sehr fein ausgewählten Binnings erhältlich sind.

High-Power LEDs setzen einen erheblichen Anteil der eingesetzten Energie in Wärme um. Diese Wärme wird nach hinten abgeführt. Dies funktioniert bei der TRILUX LED OP-Leuchte mit einer passiven Kühlung - die Platinen sind direkt mit dem aus Aluminium gefertigtem Gehäuse verbunden, welches somit als Wärmesenke dient.