

elektroniknet.de

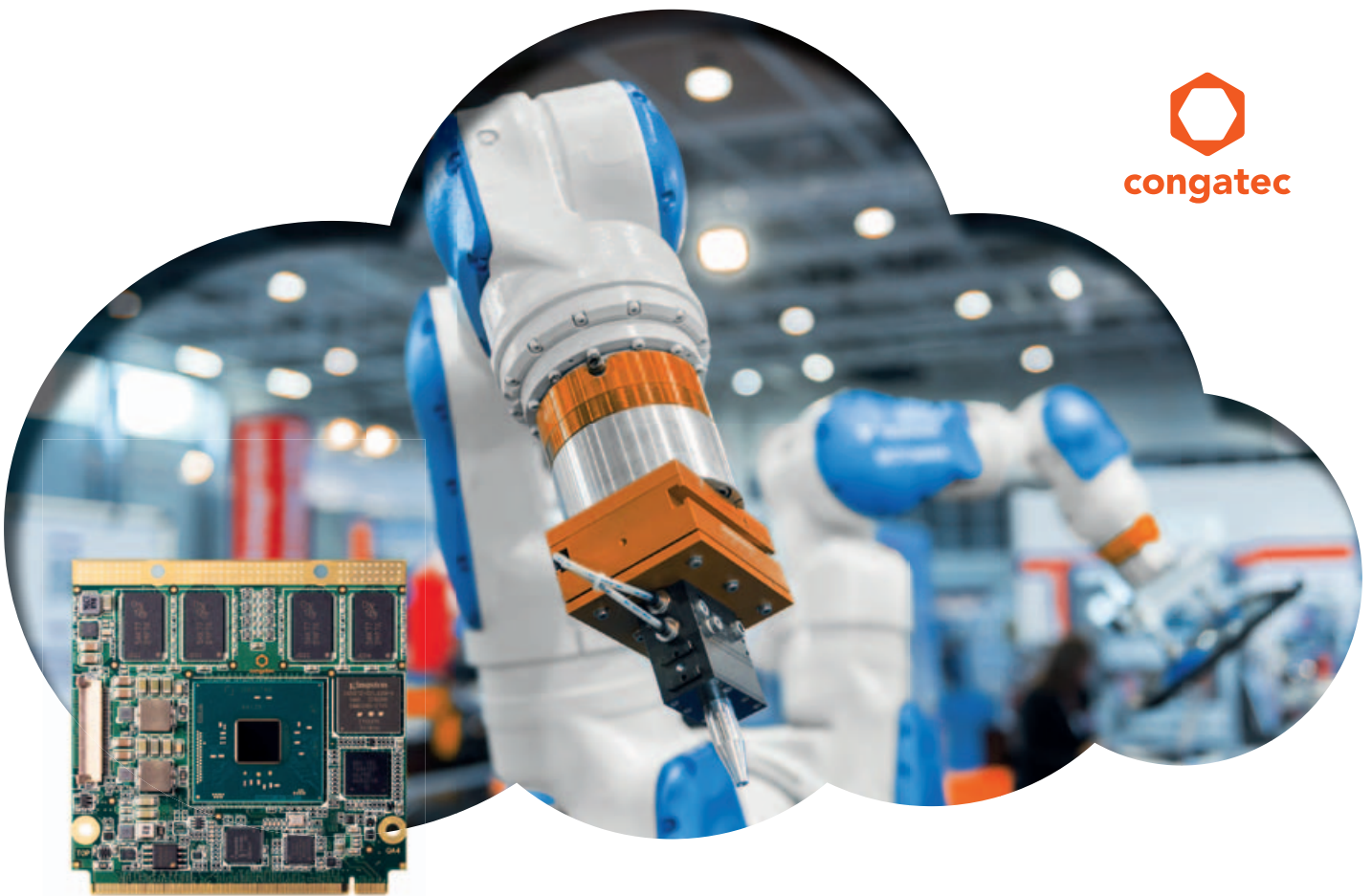
Elektronik

Fachmedium für industrielle Anwender und Entwickler

Computer-on-Modules:

Neue Oberklasse für x86er-Low-Power-Designs

>> Seite 18



congatec



Jugend forscht: Gymnasiasten erfinden Memristor auf Kupfersulfid-Basis

>> Seite 14



Elektronik basics:

Stromversorgungen entstören

>> Seite 50



Schwachpunkte von LEDs umschiffen

>> Seite 26

KOSTENLOSER VERSAND
FÜR BESTELLUNGEN ÜBER 65 €!



Leuchtenentwicklung:

Weißlicht-LED-Light-Engines

Der Farbort und die Helligkeit heutiger LED-Beleuchtungssysteme sollen flexibel einstellbar und stabil sein. Ein Leuchtenhersteller kann dafür auf zahlreiche fertige Bausteine zurückgreifen, muss bei der Optik- und Elektronikauslegung aber drei Schwachpunkte heutiger LEDs berücksichtigen.

Von Sascha Jenderny und Dr. Michael Olbrich

Eine LED-Lichtquelle mit veränderlichem Weißton kann durch die Kombination verschiedenfarbiger Einzel-LEDs realisiert werden. Durch Mischung der einzelnen Emissionsspektren entsteht der Weißlicht-Farbeindruck. Mit der gewählten Optik muss die Mischung der Einzelfarben im Nah- und Fernfeld sowie eine homogene Farbausleuchtung erreicht werden. Für die Optikauslegung ist der Einsatz von Software-Paketen unerlässlich, mit denen die erzielte Farbausleuchtung

auf Grundlage spezieller mathematischer Methoden (Monte-Carlo-Raytracing bzw. Path Tracing) simuliert werden kann.

Die Stabilität des Farbortes erfordert die Kompensation der Auswirkungen verschiedener Einflussgrößen, wie der Temperatur, des Binning, der Alterung usw. Dies geschieht durch eine dynamische Anpassung des Lichtstroms der Einzelfarben. Die notwendigen Parameteränderungen werden anhand geeigneter mathematischer Modelle in einem

Mikrocontroller errechnet und an den LED-Treiber weitergeleitet.

LEDs bieten große Vorteile und einige Schwächen

Die geringe Größe, die hohe Effizienz und die lange Lebensdauer sind einige Aspekte, aufgrund derer sich die LED als Lichtquelle in den letzten Jahren in den Bereich Automobil- und Allgemeinbeleuchtung immer weiter etabliert hat. Diese Vorteile der LED werden durch die nachfolgenden drei Schwächen begleitet, die bei farbveränderli-

chen Applikationen mit hohem Anspruch an die Farbstabilität kompensiert werden müssen. In der Praxis wird dazu eine entsprechend ausgelegte Elektronik verwendet.

Schwäche 1: LED-Binning

Die Herstellungsbedingungen bei der LED-Produktion sind gewissen Schwankungen unterworfen, sodass die Leistungswerte der LED innerhalb einer Produktionsserie statistisch um einen Mittelwert variieren. Dies ist insbesondere beim Emissionsspektrum der Fall, das sich in der Wellenlänge verschiebt, und bei der Anzahl der emittierten Photonen des Halbleiters. Ein LED-Typ wird daher in verschiedene Helligkeits- und Farbortklassen eingeteilt, das sogenannte Binning.

Bei einer farb stabilen Applikation muss dem Binning dahingehend Rechnung getragen werden, dass jede LED integral spektral vermessen und die sich aus den radiometrischen Leistungsspektren ergebenden kolorimetrischen und photometrischen Größen in einem passenden Baustein, z.B. ein Mikrocontroller mit EEPROM, on-board gespeichert werden.

Diese Messdatenerfassung geschieht am sinnvollsten inklusive der in der Leuchte eingesetzten Optik, damit potenzielle spektrale Veränderungen aufgrund der Optik im Vorfeld bereits mit kalibriert werden können.

Schwäche 2: LED-Temperaturverhalten

Durch Erwärmung des Halbleiters verändern sich seine physikalischen Eigenschaften, sodass sich Veränderungen des emittierten Lichts im Spektrum und in der Leistung ergeben. Für einen stabilen Farbort gilt es, dies in der Applikation zu kompensieren.

Ein wirkungsvoller Ansatz ist es, einen Farbsensor in die Leuchte zu integrieren, der kontinuierlich die Farbwerte (Tristimuluswerte) des emittierten Lichts misst. Diese Messwerte gelangen zu einem Mikrocontroller mit

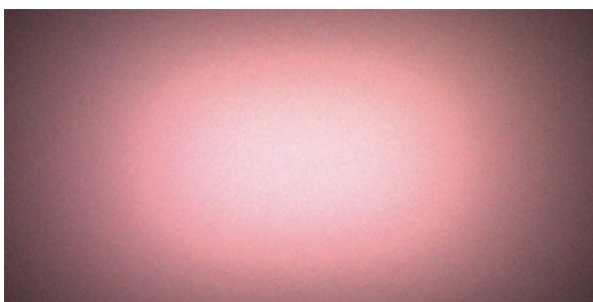
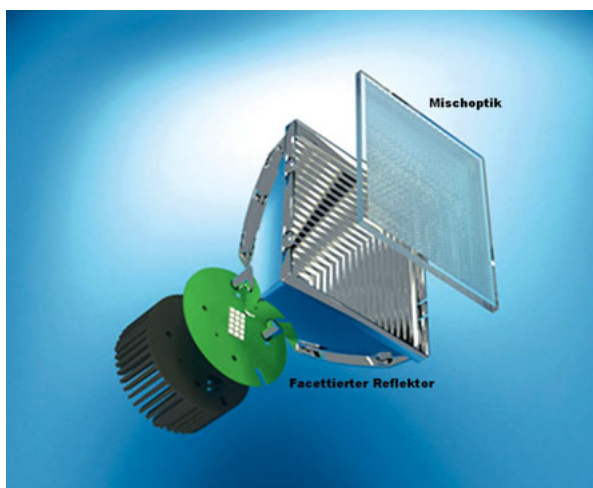


Bild 1. Ein facettierter Reflektor mit Mischoptik (oben) erzeugt eine farbhomogene Ausleuchtung (unten).

(Bild: Mentor)

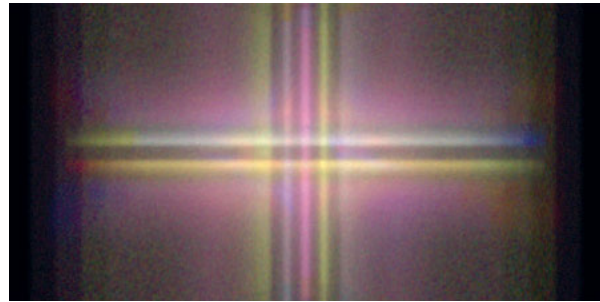


Bild 2. Ein simulierter Vergleich der kolorimetrischen Beleuchtungsstärkeverteilung zeigt die inhomogene Farbverteilung eines glatten Reflektors (rechts) gegenüber der homogenen Verteilung eines facettierten (links).

(Bild: Mentor)

Regelalgorithmus, der auf Basis einer analytischen Berechnung mittels der Soll- und Ist-Tristimuluswerte die nötigen Werte für die Pulsweitenmodulation (PWM) ermittelt. Über die Pulsweite wird der Lichtstrom der einzelnen Farbkanäle im zeitlichen Mittel so gesteuert, dass der Farbort und der Lichtstrom des gemischten Lichts konstant bleiben.

Schwäche 3: LED-Alterung

Die LED erfährt aufgrund ihres Betriebes eine Alterung. Abhängig von einer Vielzahl von Umwelteinflüssen verän-

dern sich die physikalischen Gegebenheiten im Halbleitermaterial, aber auch das Gehäuse um den Chip einschließlich des Vergusses verändert seine Eigenschaften. Wie schon das Binning und Temperaturverhalten, beeinflusst auch die Alterung die Effizienz der LED und das Spektrum des von ihr emittierten Lichtes.

Mit oben genannter Regel-

strecke inklusive Farb- bzw. Tristimulus-sensor kann diesen Effekten ebenfalls Rechnung getragen werden. Der Farbsensor muss im Vergleich zur LED dazu möglichst alterungsunempfindlich sein.

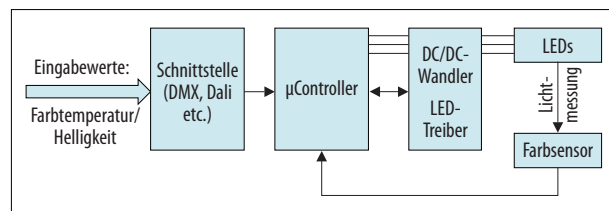


Bild 3. Die Regelung der farbveränderlichen Weißlicht-Leuchte geschieht über einen Farbsensor, der kontinuierlich Ist-Werte an den Mikrocontroller sendet.

(Bild: Mentor)

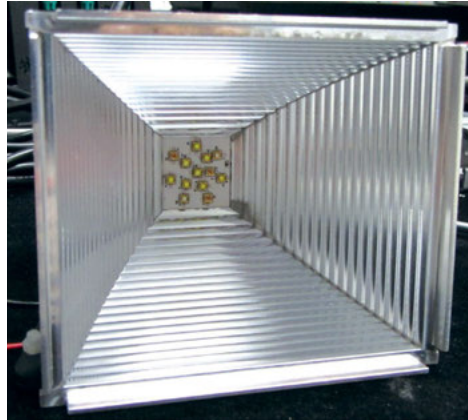
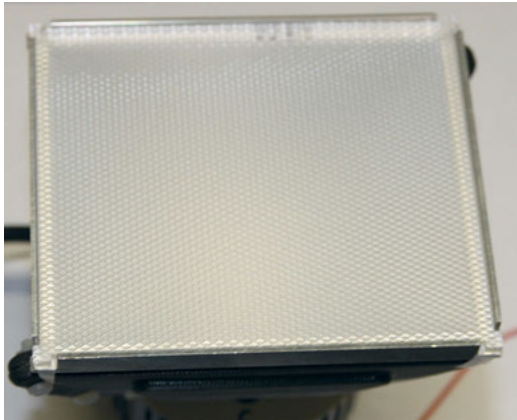


Bild 4. Die Testmessungen zur Farbstabilität werden mit dem gesamten Leuchtensystem durchgeführt. Links ist die Mischoptik abgebildet, die sich am Lichtaustritt des facettierten Reflektors (rechts) befindet.

(Bild: Mentor)

Großen Einfluss auf die Alterung hat die mittlere Betriebstemperatur, der die LED während der Laufzeit ausgesetzt ist. Entsprechend ist eine gute Wärmeableitung essenziell für eine LED-Leuchte.

Optik-Design zur Farbmischung

Um eine farbhomogene Ausleuchtung zu erzielen, muss neben der eigentlichen Strahlformung die Mischung der

Einzel Farben sichergestellt werden. Dafür sind spezielle Optikkonzepte nötig, die so ausgelegt sind, dass eine Durchmischung im Nah- und auch im Fernfeld geschieht. Mit den Optikkomponenten muss die Orts- und die Winkelabhängigkeit aufgehoben werden, die durch die verschiedenen Positionen der Einzel Farben-LEDs entstehen.

Eine Herausforderung bei diesem Schritt ist die Auslegung der mischenden Komponenten in der Weise, dass unter Berücksichtigung der Étendue-Erhaltung [1] die gewünschte Ausleuchtung entsteht. Die Étendue ist ein Maß für die Ausdehnung eines Strahlenbündels und hängt bei einer Lichtquelle vom Querschnitt der Leuchtfläche und dem Öffnungswinkel ab.

Für Anwendungen in der Allgemeinbeleuchtung, bei der die Zielfläche farbhomogen beleuchtet werden soll, kann ein facettierter Reflektor kombiniert mit einer passend ausgelegten Mischoptik eingesetzt werden, um sowohl im Fernfeld als auch im Nahfeld die Farbmischung zu gewährleisten (Bild 1).

Die unterschiedlichen Resultate, die mit einem facettierten und einem glatten Reflektor erzielt werden, machen die Simulationsergebnisse in Bild 2 deutlich. Die Mischoptik wurde dabei nicht berücksichtigt. Je nach Anforderung kann auch ein anderes Optikkonzept zur Farbmischung zielführend sein, beispielsweise eine Kondensoroptik oder sog. Mixing Rods.

Farbtonveränderliche LED Light Engine

Die oben genannten Überlegungen bezog Mentor bei der Entwicklung einer farbtonveränderlichen Weißlicht-LED-

Light-Engine für Anwendungen im Allgemeinbeleuchtungssektor mit ein, deren Farbtemperatur und Lichtstrom auf die jeweilige Anwendung angepasst werden können. Als reiner OEM-Lieferant ohne eigenes Leuchten-Sortiment bietet Mentor diese Lösung beispielsweise für Shop-Leuchten an, die je nach Exponat auf einen warm-, neutral- oder kaltweißen Farbort konfiguriert werden können. Ein variabler Weißton sowie Farbstabilität bilden auch die Grundlage für Beleuchtungen, die den circadianen Rhythmus [2] unterstützen bzw. ihm entgegenwirken sollen.

Die hier vorgestellte LED emittiert einen Lichtstrom von $\Phi_v \approx 1000$ lm bei einer Farbtemperatur von 4000 K. Die Farbtemperatur kann zwischen 3000 K und 6500 K stabil entlang der Planckschen Kurve verändert werden.

Elektronik der LED-Leuchte

Die Regelung der LED-Leuchte ist in der Blockschaltung in Bild 3 dargestellt. Über eine Benutzereingabemöglichkeit, beispielsweise eine Smartphone-Applikation oder ein Bedientableau, werden die gewünschte Farbtemperatur und die Helligkeit mittels einer Kommunikations-Schnittstelle (DMX, Dali, Bluetooth, WLAN etc.) an einen Mikrocontroller übermittelt. Dieser berechnet auf Basis einer Regelung die notwendige PWM für die verschiedenen Farbkanäle.

Die Regelung basiert auf einem Farbsensor, der die Tristimuluswerte des emittierten Lichts innerhalb der LED-Leuchte misst, sowie einem analytischen Algorithmus mit definierten Kalibrationsparametern, der die notwendigen PWM-Werte berechnet, um den gewünschten Farbort konstant zu halten.

Testmessung

Eine spektrale Vermessung der Light Engine inklusive der Optik (Bild 4) liefert Werte zur Quantifizierung der Farbortstabilität über den einstellbaren Farbtemperaturbereich. Dazu wurde die spektrale Leuchtdichte mit einem Spektroradiometer auf einem weißen Messschirm ermittelt und aus den Werten

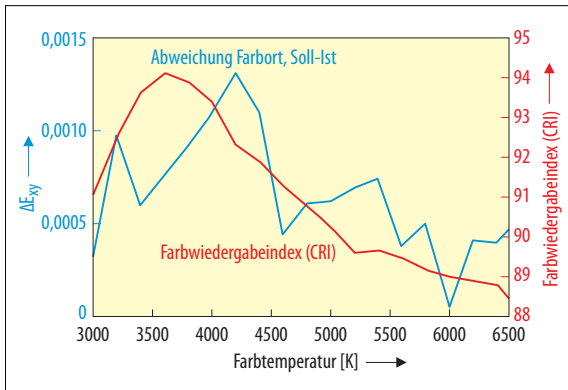


Bild 5. Ergebnisse der Testmessungen zur Farbstabilität bei Farbtemperaturen von 3000 K bis 6500 K.

(Bild: Mentor)

die Farbortabweichung ΔE bestimmt. Das Ergebnis der Messung zeigt **Bild 5**. Die Farbortabweichung ΔE errechnet sich nach der Gleichung

$$\Delta E = \sqrt{(x_{\text{soll}} - x_{\text{ist}})^2 + (y_{\text{soll}} - y_{\text{ist}})^2}$$

mit x: x-Koordinate im CIE-Farbraum; y: y-Koordinate im CIE-Farbraum.

Die Farbortabweichung beträgt $\Delta E < 0,0015$. Eine solche Farbortgenauigkeit ist für Anwendungen wünschenswert, bei denen mehrere Leuchten mit gleichem Farbton nebeneinander angeordnet sind und sich für den Beobachter im direkten Vergleich befinden.

Der Farbwiedergabeindex (CRI) variiert etwas über dem möglichen Farbtemperaturbereich. Er liegt bis ca. 5000 K über 90 und zeigt im Kaltweißen bei 6500 K einen Wert von >88 .

Zusammenfassung

Die spektralen Leistungsverteilungen verschiedenfarbiger LEDs können so eingestellt werden, dass ein Beleuchtungssystem Licht mit einem definierten und konstanten Farbort erzeugt. Dabei werden die Auswirkungen des Temperaturverhaltens, des Binning

und der LED-Alterung auf die erzielte Farbe durch Regelung des zeitlichen Mittels des Lichtstroms der einzelnen Farbkanäle kompensiert. Über geeignete mathematische Ansätze berechnet ein Mikrocontroller die passenden PWM-Werte für den LED-Treiber. Die dazu nötigen Parameter sind zum einen on-board gespeichert und werden zum anderen kontinuierlich von einem Farbsensor geliefert.

Die optische Komponente einer LED Light Engine muss eine Farbhomogenisierung über die gesamte zu beleuchtende Zielfläche bereitstellen. Sollten sich aufgrund der Optik zwischen zwei Leuchten Unterschiede in der Helligkeit ergeben, kann dieser ebenfalls im Algorithmus der Elektronik kompensiert werden.

Die sogenannte Tunable White Light Engine von Mentor eignet sich für an-

spruchsvolle Anwendungen, bei denen es um Farb- und Helligkeitskonstanz über die gesamte Lebensdauer, kombiniert mit der Variabilität der Weißtonveränderung geht. *mha*

Literatur

- [1] Chaves, J.; Cvetkovic, A.; Mohedano, R.; Dross, R.; Hernandez, M.; Benitez, P. et al.: Inhomogeneous source uniformization using a shell mixer Köhler integrator. Proc. of SPIE Vol. 8550, 85502X-1, 2012.
- [2] Schlie-Roosen, F.: Wirkung des Lichts auf den Menschen. www.licht.de



Dr. Michael Olbrich

ist Physiker mit Schwerpunkt optische Technologien. Seit 2006 entwickelt Dr. Olbrich anspruchsvolle Optiken und Beleuchtungslösungen für die Sensorik, die automobilen Innenausstattung, die Innen- und Außenbeleuchtung und den Konsumgüterbereich.

michael.olbrich@gmx.de



Dipl.-Ing. (FH)

Sascha Jenderny

ist als Entwicklungsingenieur in der Fachgruppe Licht der Mentor GmbH & Co. Präzisions-Bauteile KG verantwortlich für die Auslegung von Optiken für moderne LED-Leuchten im Automotive- und Industriebereich sowie für photometrische und kolorimetrische Messungen.

Sascha.jenderny@mentor.de