

Elektronik

Fachmedium für industrielle Anwender und Entwickler

Projekt „All-in-One“:

Smartphones beeinflussen Bedienkonzepte im Auto

>> Seite 26



„Über kurz oder lang wird ein Wirkungsgrad größer 90 Prozent auch im mittleren Preissegment Standard sein.“

>> Seite 14

Sebastian Thies, Produktmanager für Stromversorgungen bei Elektrosil

☉ **Antriebstechnik: Von der Gleichspannungs- zur PWM-Steuerung**

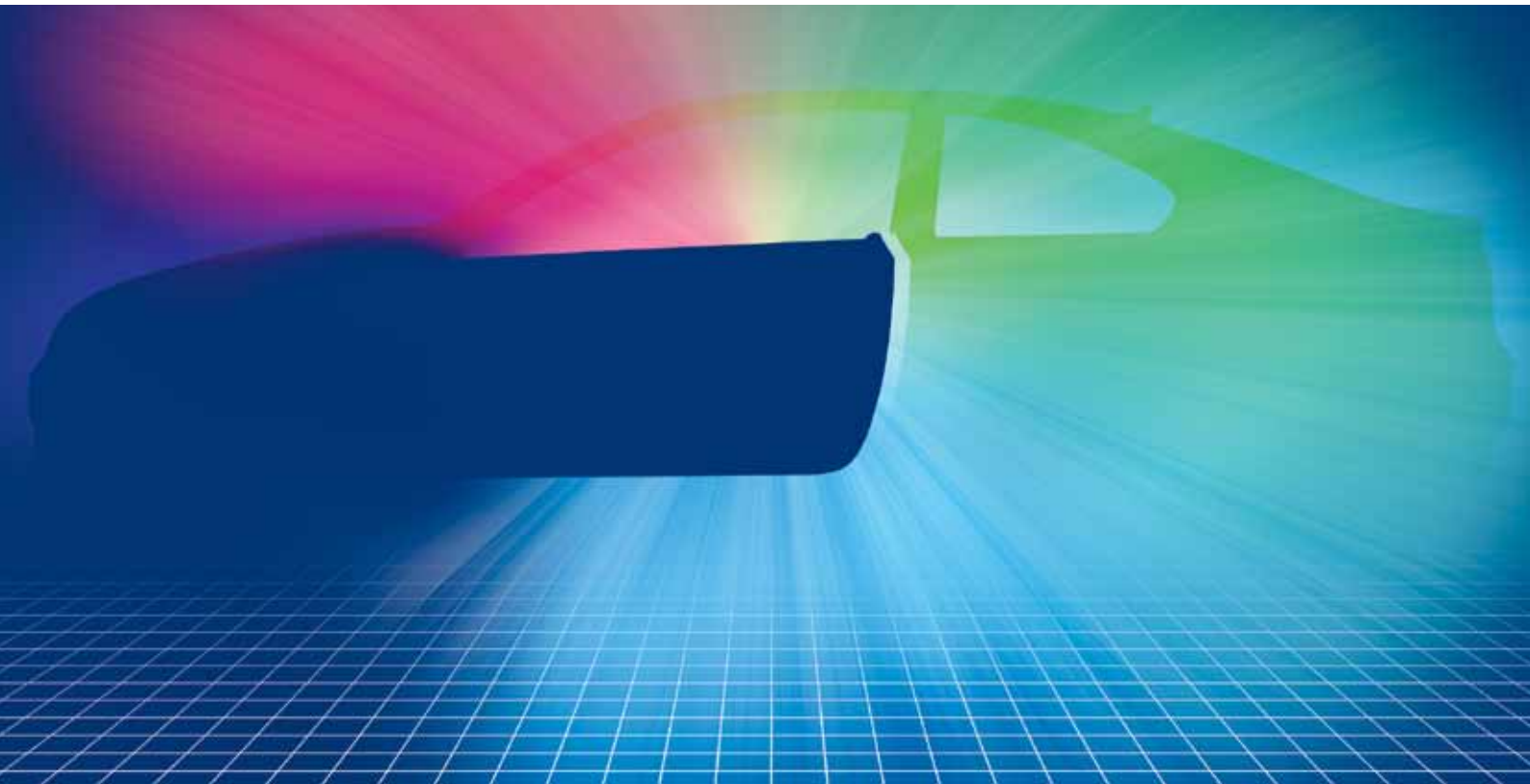
>> Seite 44

☉ **LED-Praxis: Mit Arduino zur DMX-zu-RGB-Bridge**

>> Seite 35

KOSTENLOSER VERSAND
FÜR BESTELLUNGEN ÜBER 65 €!





Farborte gezielt ansteuern und stabil halten:

RGB-LEDs ohne Farbsensor regeln

Mit dem Fortschritt in der LED-Technik sind auch die Möglichkeiten gewachsen, mit Licht zu gestalten, Akzente zu setzen und einzigartige Erkennungsmerkmale zu schaffen. Im Automobilbereich werden diese Möglichkeiten zunehmend für die Gestaltung des Innenraums genutzt, um die Kundenwünsche nach Individualisierung und stimmungsabhängiger Beleuchtung zu erfüllen. Nötig ist dazu der Einsatz von mehrfarbigen LEDs sowie deren geschickte Ansteuerung und Regelung.

Anforderungen an RGB-LEDs im Fahrzeuginnenraum

Die Beleuchtung im Pkw-Innenraum erfolgt oft über mehrere Lichtquellen, deren Licht von den Insassen gleichzeitig wahrgenommen wird. Werden diese Lichtquellen auf den gleichen Farbort eingestellt, müssen die Unterschiede in Farbe und Helligkeit des emittierten Spektrums daher möglichst gering ausfallen. Diese Forderung gilt für Um-

Es gibt Situationen, in denen ein frei ansteuerbarer und über tausende Betriebsstunden stabiler Farbort gefordert ist und kein Budget oder Platz für eine Regelschleife mit Farb- und Helligkeitssensoren zur Verfügung steht. Das ist zwar knifflig, aber lösbar – ein Beispiel aus dem Automobilbereich.

Von Sascha Jenderny und Dr. Michael Olbrich

gebungstemperaturen von -40 °C bis $+80\text{ °C}$ und für eine Betriebsdauer von mindestens 8000 Stunden. Ein stabiler Farbort, der auch bei Alterung der LED stabil bleibt, sowie eine gleichbleibende Helligkeit sind also zwei Hauptanforderungen an eine LED-Lichtquelle für den Automobilbereich. Dazu ist eine Regelschleife zwingend erforderlich. Die offensichtliche Variante mit Helligkeits- und Farbsensor ist hier allerdings nicht umsetzbar. Ein Farbsensor würde einen relativ hohen Anteil der gesamten Systemkosten ausmachen und zusätzlichen Platz benötigen, der im Automobi-

bil natürlich generell begrenzt ist und gerade für ein Design-Element so klein wie möglich gehalten werden muss.

Günstiger und platzsparender ist eine Regelung über die Temperatur. Sowohl die Leistung als auch die spektrale Verteilung des emittierten Lichts der LED hängen von der Junction-Temperatur des LED-Halbleiters ab, die dynamisch von der Umgebungstemperatur beeinflusst wird. Bei einer RGB-LED muss beachtet werden, dass der rote, grüne und blaue Chip jeweils unterschiedlich auf Temperaturunterschiede reagieren.

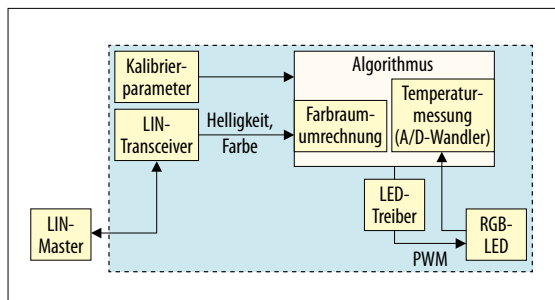


Bild 1. Prinzipschaltung des RGB-LED-Moduls: Die zur Berechnung der PWM nötigen Kalibrierparameter werden einmalig für jede LED spezifisch ermittelt und in den Mikrocontroller geschrieben.

(alle Bilder: Mentor)

Eine statische Variation der LED-Eigenschaften entsteht durch Schwankungen im Herstellungsprozess. Diese Schwankungen beeinflussen wiederum Leistung und spektrale Verteilung des LED-Lichts innerhalb einer Produktionsserie. Der LED-Hersteller teilt die LED-Chips daher je nach Farbe und Helligkeit in unterschiedliche Binnings ein. Somit müssen also zum einen während der Laufzeit dynamisch die Helligkeit und die Farbe der Leuchte abhängig von der Temperatur angepasst und zum anderen einmalig die herstellungsbedingten Unterschiede zwischen den LEDs festgestellt und durch entsprechende Justage der Leuchte nivelliert werden.

Hinzu kommen noch die speziellen EMV-Anforderungen an die Automobil-elektronik. Die LED-Leuchte darf, wie jedes elektronische Bauteil im Pkw, keine störende elektromagnetische Strahlung emittieren und gleichzeitig auf Strahlung dieser Art nicht unkontrolliert reagieren. Letzteres gilt auch für Unregelmäßigkeiten im Bordspannungsnetz. Genaue Anforderungen dazu gibt der jeweilige OEM vor, der sich in der Regel auf die Normen ISO 10605, ISO 11452 und ISO 7637 bezieht. Ferner muss die Leuchte zur Übermittlung von Informationen wie gewünschter Farbe, Helligkeit und diversen Sonderfunktionen, aber auch zur Rückmeldung im Falle eines Fehlers des LED-Moduls, eine Schnittstelle zum LIN-Bussystem des Fahrzeuges haben.

Ansteuerung und Regelung über ein RGB-LED-Modul

Um zu gewährleisten, dass auch ohne Farb- und Helligkeitssensor alle Leuchten im Fahrzeug bezüglich Farbe und Helligkeit gleich sind, bedarf es einiger

Kniffe. Mentor hat dafür ein RGB-LED-Modul entwickelt, dessen Herzstück neben der verwendeten RGB-LED ein Mikrocontroller ist, in den der LIN-Transceiver, der LED-Treiber, der AD-Wandler und die Temperaturüberwachung integriert sind. Die nötige Mikrocontroller-Peripherie und die Platine sind so ausgelegt, dass das Leuchten-Modul ein minimales Volumen einnimmt und trotzdem die volle Funktionalität sichergestellt ist.

Um den prozessbedingten Schwankungen zu begegnen, wird das absolute Leistungsspektrum jedes LED-Moduls bei einer definierten Temperatur End-of-Line gemessen. Aus den gemessenen Daten werden im Anschluss Kalibrierparameter berechnet und in das EEPROM des Mikrocontrollers geschrieben. Das geschieht in einem vollständig automatisierten Prozess innerhalb weniger Sekunden. Zur dynamischen Kompensation der genannten Temperatureffekte wurden zunächst umfangreiche Messserien durchgeführt, bei denen man das Temperaturverhalten des verwen-

deten LED-Typs detailliert untersuchte. Mit den daraus gewonnenen Erkenntnissen konnte ein mathematisches Modell erstellt werden, welches die Abhängigkeit von Farbe, Helligkeit und Vorwärtsspannung des LED-Typs von der Temperatur beschreibt.

Zur Ansteuerung der LED wurde nun ein komplexer Algorithmus entwickelt, der unter Verwendung der Kalibrierparameter, des mathematischen Modells und der fortlaufend gemessenen Temperatur die nötige Pulsweitenmodulation (PWM) berechnet, um die LED mit einer definierten Helligkeit in dem gewünschten Farbort leuchten zu lassen. Die Information über die Temperatur wird indirekt über die turnusmäßige Messung der Vorwärtsspannung der LED erhalten. Um eine Schädigung der LED und des Mikrocontrollers durch Übertemperatur zu vermeiden, wird beim Erreichen von vorher definierten Temperaturniveaus die Helligkeit der LED schrittweise heruntergedimmt. Mit der sogenannten Leuchtdichtekompensation ist es möglich, Helligkeitsunterschiede einfach auf Software-Ebene auszugleichen, die durch Unterschiede

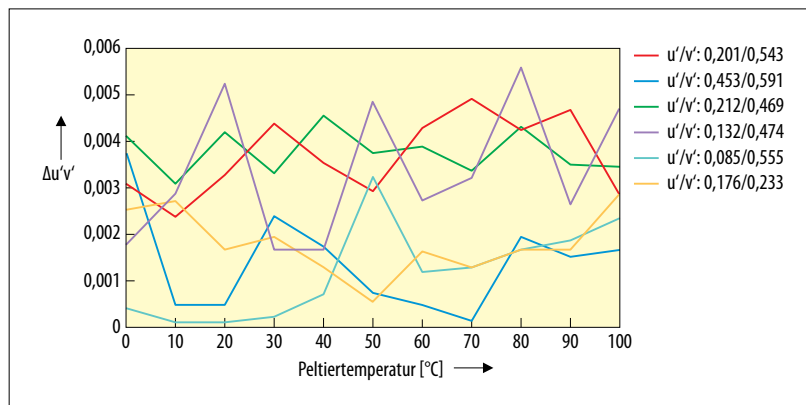


Bild 2. Auswertung einer Testmessung zur Farbortstabilität. Für sechs über die x-y-Koordinaten definierte Farborte ändert sich das emittierte Spektrum über den Temperaturbereich kaum.

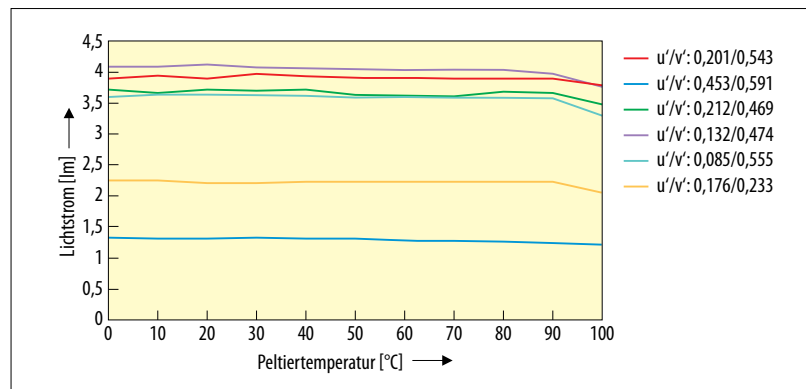


Bild 3 Die Helligkeit der aus Bild 2 bekannten Farborte schwankt nur unmerklich über die Temperatur.

in der Effizienz der Optik sowie in der Größe der Lichtaustrittsfläche der späteren Beleuchtungsanwendungen herangezogen werden.

Die Kommunikation mit dem Leuchten-Modul erfolgt über das LIN-Bussystem des Fahrzeugs, über das neben der gewünschten Lichtfarbe und Helligkeit auch eine Dimmrampe für Farb- und Helligkeitswechsel übermittelt wird. Diese Parameter können vom Nutzer über eine beliebige Mensch-Maschine-Schnittstelle (MMS) ausgewählt werden. Ein Prinzipschaltbild des RGB-LED-Moduls ist in Bild 1 zu sehen.

Ansteuerung des Farbortes und Stabilität prüfen

Im Rahmen der Entwicklung wurden die RGB-LED-Module bei Mentor neben ESD- und EMV-Tests auch umfangreichen lichttechnischen Tests unterzogen. Ziel der lichttechnischen Messungen war es, die korrekte Berechnung der PWM der einzelnen RGB-Chips zum Erreichen eines eingestellten Zielfarbortes zu überprüfen. Besonderes Augenmerk liegt hier auf der Kompensation der unterschiedlichen Binnings sowie der Temperatureinflüsse. Mittels Ulbrichtkugel und Spektroradiometer wird der Lichtstrom der LED dazu spektral aufgelöst gemessen. Zur Simulation verschiedener Umgebungstemperaturen ist die Platine des RGB-LED-Moduls thermisch leitend mit einem Peltier-Modul verbunden. Jeder Prüfling wird bei Temperaturen in einem Bereich von 0 °C bis 100 °C mit verschiedenen Farborten und Dimmstufen angesteuert und bezüglich Vorwärtsspannung, PWM, Lichtstrom und Farbabweichung bewertet. Die Farbabweichung wird als Differenz der beiden Ist-Koordinaten (u' , v') von den Soll-Koordinaten im CIE UCS-Farbraum angegeben und nach der folgenden Gleichung berechnet:

$$\Delta u'v' = \sqrt{(u'_{\text{soll}} - u'_{\text{ist}})^2 + (v'_{\text{soll}} - v'_{\text{ist}})^2}$$

Wie die Auswertung der Farbortstabilität in Bild 2 zeigt, beträgt die Abweichung des Farbortes maximal 0,006 und liegt damit ein gutes Stück unter dem zur Zeit gängigen Richtwert für Automobile von 0,01. Die Auswertung einer Messung zur Stabilität des Lichtstroms über den Temperaturbereich bei verschiedenen Farborten ist in Bild 3 dargestellt. Der dunkelste Kanal bei den

CIE-Koordinaten $x = 0,62$, $y = 0,31$ ist der rote Farbkanal. Dieser Teil des LED-Emissionsspektrums büßt bei steigender Temperatur die meiste Helligkeit ein. Daher muss der rote LED-Chip auch bei kleinen Temperaturen auf einen geringen Helligkeitswert eingestellt werden, damit er über den gesamten Temperaturbereich stabil geregelt werden kann. Der blaue Farbkanal ($x = 0,17$, $y = 0,10$) liegt ebenfalls etwas unter dem Helligkeitsniveau der übrigen Farbkanäle. Die Ursache dafür ist, dass der blaue LED-Chip generell etwas weniger Lichtstrom emittiert als die übrigen LED-Chips.

Lichtdesign für die gelungene Akzentuierung

Farbleuchten im Pkw-Innenraum sollen häufig die Kontur von gewissen Bauteilen akzentuieren. Dieser Effekt wird nicht durch direkte Bestrahlung mit der RGB-LED erzielt, sondern das Licht wird typischerweise direkt von der LED in einen beleuchtungsoptischen Lichtleiter eingekoppelt, der das Licht an den Zielort leitet und dort homogen über eine definierte Länge verteilt. Für die Beleuchtung mit RGB-LEDs muss zusätzlich – und anders als bei einer Weißlicht-LED – auch die Farbhomogenität gewährleistet sein. Dazu wird das Licht in eine Art optische Mischkammer und erst danach in den Lichtleiter eingekoppelt.

Bei dieser Mischgeometrie ist es wichtig, dass der Querschnitt eine gerade Anzahl von Kanten besitzt, sodass sich jeweils zwei Flächen parallel gegenüberliegen [1]. In der Praxis hat sich hier ein hexagonaler Querschnitt bewährt. Auch zu starke Krümmungen oder Befestigungselemente (z.B. Rastnasen) im Lichteinkoppelbereich können den Verlust einzelner Farbanteile des Lichts und damit eine fehlerhafte Farbmischung bewirken.

Ein exemplarischer Aufbau eines lichtleitenden Optiksystems für den Pkw-Innenbereich ist in Bild 4 zu sehen. Abgebildet sind zwei Lichtleiter unterschiedlicher Länge, gefasst von einem Reflektor und hinter einer volumenlichtstreuenden Lichtscheibe.

Nach der oben beschriebenen hexagonalen Mischkammer wird der Lichtleiter hier in eine runde Form überführt, wobei die Rundung auf der dem

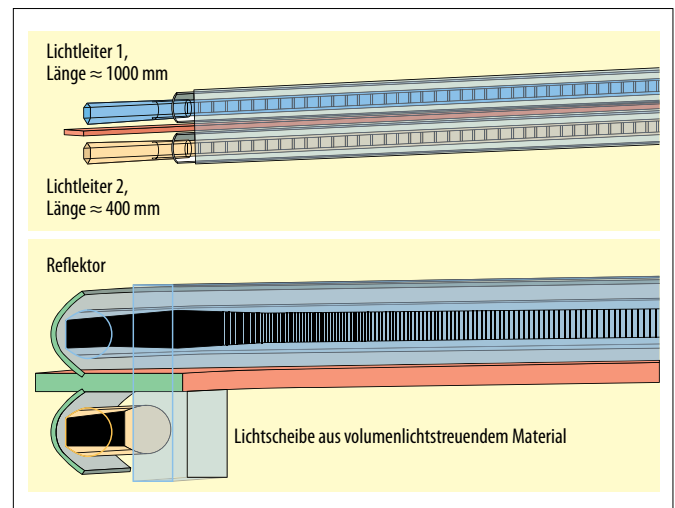


Bild 4. So könnten zwei Optiksyste-me für den Pkw-Innenraum aussehen. Sie bestehen jeweils aus einer hexagonalen Mischkammer (oben, links) und gehen dann in einen kreisförmigen Lichtleiter über. Reflektor und Lichtscheibe sind unten vergrößert sichtbar.

Lichtaustritt abgewandten Seite abgeflacht ist, um Geometrien zur Lichtextraktion kunststoffspritzgussgerecht in den Lichtleiter einbringen zu können.

Der mit $L = 1000$ mm angegebene Lichtleiter hat eine zweiseitige Einkoppelung für das Licht, beim mit $L = 400$ mm angegebenen Lichtleiter kann Licht nur über eine Seite eingekoppelt werden. Eine Analyse der Leuchtdichteverteilung ist in Bild 5 zu sehen. Sie wurde mittig über die Länge des Lichtleiters gemessen. Im oberen Teil ist die Verteilung für den lang ausgeführten Lichtleiter zu sehen und im unteren Teil die für den kürzer ausgeführten. Im mittleren Teil ist eine Falschfarbendarstellung für beide Lichtleiter mit der zugehörigen Farbskala am rechten Rand. Die hier gezeigte photometrisch und kolorime-

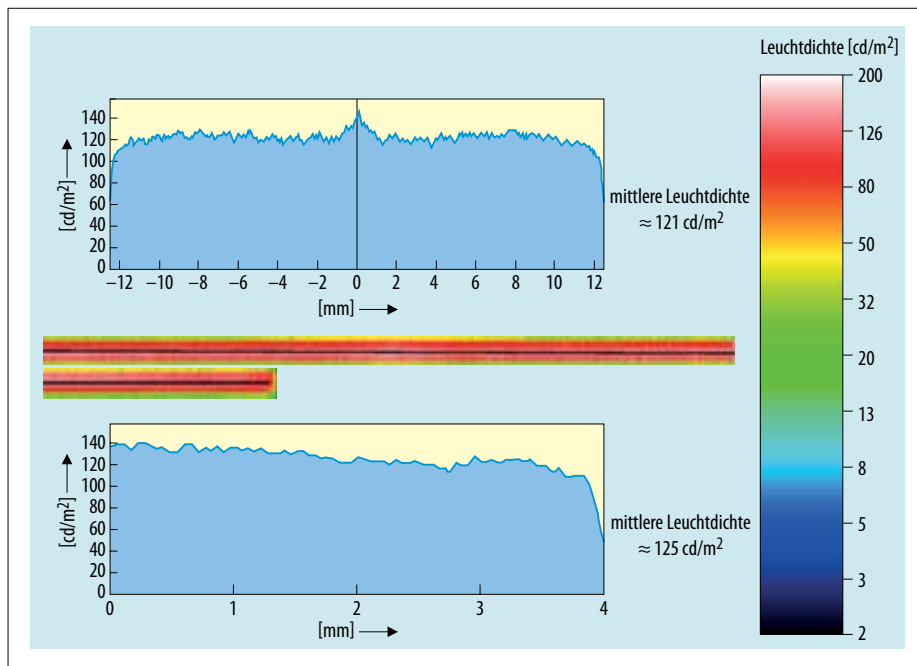


Bild 5. Simulationsergebnis der Leuchtdichteverteilung der beiden Lichtleiter aus Bild 4. Die Homogenität entlang der lateralen Ausdehnung der Lichtleiter und die erzielten ähnlichen Leuchtdichten für beide Lichtleiter ist gut erkennbar.

trisch homogene Ausleuchtung ist nur durch rechnergestützte Optimierung der Geometrien zur Lichtextraktion sowie

durch die Anpassung der Leuchtdichte der Lichtleiter untereinander (Leuchtdichtekompensation) möglich. *mha*

Literatur

[1] *Koshel, R. John: Illumination Engineering: Design with Nonimaging Optics. John Wiley & Sons, 2012.*



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.com

LED-Hochleistungsmodule:

Mit mehr als 40 Wellenlängen

Für Anwendungen in der Mikroskopie, chemischen Analyse, Spektroskopie oder Forensik hat Omicron die LED-Hochleistungsmodule der Serie *Ledmod* konzipiert. Die Module mit Ausgangsleistungen von



einigen hundert Milliwatt werden mit mehr als 40 verschiedenen Wellenlängen vom tiefen Ultraviolett bis zum nahen Infrarot angeboten. Die LED-Module sind sowohl in einer fasergekoppelten Variante als auch mit freier Emission erhältlich. Sie sind mit Modulationseingängen für die analoge

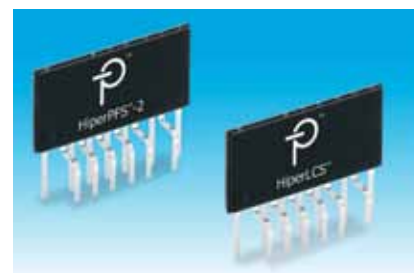
Intensitätsmodulation mit bis zu 200 kHz sowie für die digitale Modulation mit Schaltzeiten von weniger als 200 ns ausgestattet. Die digitale Modulation kann sowohl über externe Modulationssignale als auch durch einen internen, programmierbaren Signalgenerator erfolgen. Über einen Sync-Ausgang ist die Synchronisation mit externen Geräten wie Kameras, Spektrometern oder Lock-in-Verstärkern möglich. Durch die Temperaturstabilisierung der LED-Chips wird eine gute Leistungs- und Wellenlängenstabilität gewährleistet. Die *Ledmod*-Module lassen sich über die mitgelieferte Software *Omicron Control Center* oder kundeneigene Software per RS-232 oder USB 2.0 ansteuern.

Omicron-Laserage Laserprodukte
www.omicron-laser.de

Referenzdesign für LED-Beleuchtungen:

Weniger Bauteile nötig

Das Referenzdesign *RDR-382* von Power Integrations beschreibt eine 150-W-Konstantstromversorgung für Eingangsspannungen von 90 bis 265 V AC und mit einer Nennausgangsspannung von 43 V. Es basiert auf den PFC-Controller-ICs der Familie *HiperFPS-2* und LLC-Leistungsstufen der Familie *HiperLCS*. Normalerweise erzeugen zweistufige Treiber mit separaten PFC- und LLC-Stufen eine konstante Ausgangsspannung und verfügen zur Umwandlung in einen konstanten Ausgangsstrom über mehrere DC/DC-Wandler. Im Gegensatz dazu arbeitet das Referenzdesign *RDR-382* mit einem anderen Regelkreis- und Steuerungskonzept. Dieses zeichnet sich dadurch aus, dass die LLC-Stufe direkt an ihrem Ausgang einen Konstantstrom liefert. Dadurch



werden weniger Bauteile benötigt. Mit dem Referenzdesign lässt sich ein Wirkungsgrad von über 93 % erzielen. Das Referenzdesign *RDR-382* kann zur Steuerung von einer oder mehreren LED-Ketten verwendet werden und eignet sich zur Entwicklung von LED-Straßenlampen, LED-Hallenbeleuchtungen und anderen Hochleistungs-LED-Anwendungen. Analoges Dimmen über eine externe 0- bis 10-V-DC-Steuerspannung wird unterstützt.

Power Integrations
www.power.com