

# Lichtmischung in adaptiven Beleuchtungssystemen mit veränderbarer Abstrahlcharakteristik (VerA)

**Projekt:** Lichtmischung in adaptiven Beleuchtungssystemen mit veränderbarer Abstrahlcharakteristik

**Laufzeit:** 01.04.2016 bis 31.08.2017

**Gesamtkosten:** 40.000,00 €

**Fördersumme:** 40.000,00 €

**Projektleiter:**

Prof. Dr. Wolfgang Mönch

Fakultät Werkstofftechnik

Technische Hochschule Nürnberg

Georg Simon Ohm

Leuchtdioden (LEDs) haben in den vergangenen 15 Jahren die Lichtindustrie wegen ihres hohen Wirkungsgrades und ihrer langen Lebensdauer völlig verändert. Dies zeigt sich schon am Angebot an Beleuchtungsprodukten in typischen Bau- oder Elektro-Märkten. Das traditionelle Lichtgeschäft ist stärker und schneller eingebrochen, als dies von der Industrie vorhergesehen wurde.

Durch den technischen Wandel ergeben sich neue Herausforderungen. Als erstes nimmt die Beleuchtungstechnik an kurzen Innovations- und Produktlebenszyklen der Elektronik teil. Zweitens eröffnet sich die Möglichkeit, die gesamte Beleuchtungstechnik zu digitalisieren und dabei insbesondere in Anordnungen mit zahlreichen Punktlichtquellen jede einzelne individuell anzusteuern. Auf diese Weise lassen sich neue völlig Beleuchtungskonzepte umsetzen, beispielsweise Farbwechsel für dekorative Zwecke oder zur Stimmungsbeleuchtung. Die gezielte Einstellung von Farbtönen, Farbwiedergabeeigenschaften und Spektren ist dabei insbesondere für die speziellen Anforderungen an die Beleuchtung von Verkaufsräumen, Museen oder Operationssälen von großem Interesse. Auch eine auf den Tageszeitrhythmus angepasste Beleuchtung wird untersucht, um beispielsweise Lernprozesse an Schulen oder Heilungsprozesse an Kliniken zu unterstützen.

## Ziele

Ein wichtiger Aspekt in der Beleuchtungstechnik ist die Abstrahlcharakteristik, d.h. die Richtungsabhängigkeit der abgestrahlten Lichtstärke. Leuchten mit veränderbarer Abstrahlcharakteristik würden ganz unabhängig von der Art der Lichterzeugung eine Neuheit darstellen, die für die Beleuchtungstechnik von hohem Interesse und für zahlreiche Anwendungen wünschenswert wäre.

Ein wesentliches Hindernis bei der technischen Umsetzung steuerbarer Lichtstärkeverteilungen ist die Problematik der Licht- und Farbmischung, wie sie gerade in LED-Systemen mit einer Vielzahl von teilweise unterschiedlichen Punktlichtquellen auftritt, da diese bislang nicht zufriedenstellend gelöst ist. Zur Licht- und Farbmischung sind zwar Lösungskonzepte in der Literatur bekannt und kommerzielle Produkte auf dem Markt erhältlich, jedoch ist nicht bekannt, inwiefern diese auch im Zusammenspiel mit variablen Abstrahlcharakteristiken in der gewünschten Weise funktionieren und sich unerwünschte Artefakte wie Farbschatten im gesamten Abstrahlwinkelbereich verhindern lassen. Manche der Konzepte sind auch so

kompliziert aufgebaut, dass dadurch der System-Transmissionsgrad stark herabgesetzt ist und sie dadurch für den Einsatz in hocheffizienten Beleuchtungssystemen nicht in Frage kommen. Die Problematik der Kombination einer Vielzahl von Punktlichtquellen mit einer Optik für variable Abstrahlcharakteristik war Forschungsgegenstand dieses Projekts. Ziel war dabei die Untersuchung von verschiedenen optischen Konzepten, die für Mehrkanal-LED-Lichtquellen sowohl eine variable Abstrahlcharakteristik erlauben als auch die Licht- und Farbmischung in zufriedenstellender Weise sicherstellen.

## Projektverlauf

Im Projekt wurden die Möglichkeiten und Grenzen, eine variable Lichtstärkeverteilung mit optischen Komponenten nach dem Stand der Technik umzusetzen, erforscht. Der Schwerpunkt lag dabei klar auf der experimentellen Seite. Die Systeme sollten dabei möglichst einfach gehalten werden, um eine theoretische Beschreibung zu ermöglichen und andererseits den Praxisanforderungen in der Allgemeinbeleuchtung Rechnung zu tragen. Parallel dazu wurden strenge Rechnungen sowie Simulationen mittels der optischen Simulationssoftware LightTools durchgeführt.

Wegen der Breite der Fragestellung des Projektes wurde dieses zu Projektstart auf eine anwendungsnahe, konkrete und sinnvolle Zielspezifikation eingrenzt. Als Zielspezifikation für den Farbort wurde eine korrelierte Farbtemperatur von 3000 K gewählt, da dieser Farbort in der Allgemeinbeleuchtung auf dem europäischen Markt sehr beliebt und weit verbreitet ist. Die Abstrahlcharakteristik wurde auf Spot- und Akzentbeleuchtungen eingegrenzt, da dies eine sehr häufige Anwendung in der Allgemeinbeleuchtung darstellt und die Beschreibung solcher Systeme quantitativ am einfachsten und klarsten zugänglich war.

Als Light Engine für die Aufbauten diente eine Zeile aus drei LEDs vom Typ OSTAR Stage der OSRAM Opto Semiconductors GmbH. Diese LED-Bauform wurde ausgewählt, weil sie sowohl über jeweils vier individuell ansteuerbare LED-Chips mit unterschiedlichen Emissionswellenlängen als auch über einen Keramikträger als Substrat für die Chips verfügt. Daher eignet sie sich sehr gut für die angezielten Spot-Beleuchtungsanwendungen mit Lichtmischung. Die Light Engine ihrerseits war zur Wärmeabfuhr an einen Kühlkörper angekoppelt. Zur Lichtmischung und Veränderung des Abstrahlwinkels wurden folgende Optik-Konzepte untersucht:

-Lichtmischstab und plankonvexe, asphärische Linse die der Planseite eine unregelmäßige Textur zur Lichtmischung aufweist. Der Abstrahlwinkel kann über den Abstand zwischen Austrittsfläche des Lichtmischstabes und Linsenscheitel eingestellt werden.

-Glasreflektor. Es handelt sich um einen strukturierten Parabolreflektor aus Glas, den ausgangsseitig eine spezielle texturierte Mikrolinsenplatte zur Lichtmischung als vereinfachter Köhler-Integrator aufgesetzt wird. Auch hier wird der Abstrahlwinkel durch den Abstand zwischen Light Engine und Eingangsseite des Reflektors eingestellt.

-Fokusvariable Linse, deren Brechkraft dynamisch eingestellt werden kann. Eine Diffusorscheibe ist vorgesetzt. Zur Vergrößerung der Brechkraft wird die fokusvariable Linse mit einer festbrennweiten Linse kombiniert. Die Veränderung des Abstrahlwinkels erfolgt über eine stromgesteuerte Fokuseinstellung der fokusvariablen Linse.

Als Referenz wurden kommerziell erhältliche LED-Leuchtmittel mit festen Öffnungswinkeln genutzt.

## Ergebnisse

Nach umfangreichen Voruntersuchungen stellten sich die drei oben beschriebenen optischen Systeme grundsätzlich als geeignet heraus, um für die mehrkanaligen Light Engines sowohl die gewünschte Licht- und Farbmischung als auch die Einstellbarkeit des Abstrahlwinkels zu gewährleisten. Der experimentelle Vergleich erfolgte durch Messungen der Abstrahlcharakteristik bzw. des Abstrahlwinkels mit einem Goniophotometer und durch die Messung des Spektrums in der Zielebene mit einem Spektralphotometer. Letztere diente auch der Bewertung der Qualität der Lichtmischung.

Es wurden drei Akzentbeleuchtungssysteme mit veränderbarem Abstrahlwinkel für Mehrkanal-LEDs aufgebaut und charakterisiert. Alle Systeme beinhalten Komponenten für Licht- und Farbmischung als auch zur Veränderung des Abstrahlwinkels. Auf der Basis der gemessenen Daten lassen sich die drei Systeme folgendermaßen zusammenfassend bewerten:

- Reflektor mit Lichtmischplatte: Höchste Lichtausbeute, aber inakzeptable Farbhomogenität, mittelgroßer zugänglicher Bereich an Abstrahlwinkeln. Der Reflektor eignet sich damit zwar sehr gut für Systeme mit weiß emittierender LEDs, nicht aber für mehrkanalige LED-Beleuchtungssysteme.

- Strukturierte Linse mit Lichtmischstab: Mittlere Lichtausbeute, gute Farbhomogenität, größte zugänglicher Bereich an Abstrahlwinkeln. Mit diesen Eigenschaften und dem sehr einfachen Systemaufbau bietet das System insgesamt die ausgewogenste Charakteristik. Es stellt von den untersuchten Systemen für mehrkanalige Beleuchtungssysteme die beste Lösung dar.

---

Projektleiter  
Prof. Dr. Wolfgang Mönch  
Telefon: 0911/ 5880-1038  
E-Mail: wolfgang.moench@th-nuernberg.de

Fakultät  
Werkstofftechnik  
Technische Hochschule Nürnberg  
Georg Simon Ohm

[www.th-nuernberg.de](http://www.th-nuernberg.de)

- Fokusvariable Linse mit Diffusor: Geringe Lichtausbeute, sehr gute Farbhomogenität, winziger zugänglicher Bereich an Abstrahlwinkeln. Während das System eine sehr gute Farbhomogenität für mehrkanalige LED-Beleuchtungssysteme bietet, kommt es aber für den Einsatz in der Praxis wegen der geringen Lichtausbeute und des geringen zugänglichen Abstrahlwinkelbereichs nicht in Betracht.

Fördergeber



STAEDTLER  
STIFTUNG