

# LASER-basierte Lichtquellen in der Automobilbeleuchtung – Evaluation neuer Konzepte für eine weiße Lichtquelle

Benjamin Willeke\*, Jörg Meyer\*\*

\*L-LAB, Forschungsinstitut für automobile Lichttechnik und Mechatronik, Lippstadt

\*\*Photonik und Materialwissenschaften, Hochschule Hamm-Lippstadt

<mailto:benjamin.willeke@l-lab.de>

Laserdioden haben aufgrund ihres geringen Abstrahlwinkels im Vergleich zur LED den Vorteil, sehr hohe Leuchtdichten erzeugen zu können. Ein transparenter Leuchtstofflichtleiter stellt eine Alternative zu streuenden Leuchtstoffen dar. Welche Herausforderungen es auf dem Weg zu einer laserbasierten Lichtquelle gibt und wie diese Hürden überwunden werden können, wird durch den vorliegenden Beitrag belegt.

## 1 Einführung

Die Leuchtdichte von herkömmlichen Lichtquellen im Automobil wie Halogenlampen, Xenonlampen und LEDs ist entweder technisch auf unter 100 Mcd/m<sup>2</sup> begrenzt oder die leuchtende Fläche beträgt mehrere mm<sup>2</sup>. In der Kfz-Beleuchtung ist die Leuchtdichte unter den gegebenen Bedingungen eines Scheinwerfers der limitierende Faktor für die Leuchtweite. Eine erhöhte Leuchtweite ist gleichbedeutend mit größeren Beleuchtungsstärken auf Objekten oder der Fahrbahn. Außerdem bestimmt die leuchtende Fläche einer Lichtquelle die Größe der optischen Elemente eines Scheinwerfers, die ein Betrachter wahrnimmt. Kleinere optische Elemente ermöglichen das sogenannte „Licht aus dem Nichts“, welches ein gefragtes markenspezifisches Stylingelement ist [1, 2].

Daraus folgt, dass die leuchtende Fläche der Lichtquelle reduziert und die Leuchtdichte erhöht werden muss, um den Anforderungen an höhere Scheinwerferleuchtweiten und neuen Styling-Möglichkeiten gerecht zu werden. Diesem Trend können bei einer geforderten konstanten Performance LED-basierte Systeme kaum bis gar nicht gerecht werden [2].

Ein alternativer Ansatz, um eine Weißlichtquelle zu realisieren, basiert auf einer blauen High-Power Laserdiode (LD) und einem Leuchtstoff (LS). Für weiße Laserlichtquellen eignet sich ein LS, der durch blaue Strahlung angeregt wird und gelbgrünliche Strahlung emittiert. Diese dichromatische Farbmischung wird von dem menschlichen Auge als weißes Licht wahrgenommen. LD weisen eine emittierende Fläche von einigen μm<sup>2</sup> auf [10]. Zusätzlich ist aufgrund einer sehr geringen Divergenz eine gute Fokussierung der Laserstrahlung durch optische Systeme möglich - anders gesagt hat eine LD eine besonders hohe Strahldichte.

## 2 Leuchtstoff Grundlagen

Ein LS ist z.B. ein meist anorganisches lumineszentes Material, welches als Pulver sowie polykristalline Keramik oder als Einkristall hergestellt werden kann. Die polykristallinen Keramiken werden in transluzente (undurchsichtig, opak) und transparente (glasklar ohne sichtbare Streuzentren) Keramiken unterschieden. Transluzente Keramiken streuen die anregende Strahlung sehr stark und lassen wenig direkte Strahlung hindurch. Es kommt zu einer gleichmäßigen Durchmischung von anregendem nicht absorbiertem und emittiertem Licht. Transparente Keramiken konvertieren einen Teil der anregenden Strahlung und transmittieren die nicht konvertierte anregende Strahlung überwiegend ungestreut. Die Energiedifferenz von anregendem und emittiertem Licht erwärmt aufgrund der Energieerhaltung den LS (1). Dieser Effekt ist auf die sogenannte Stokes-Verschiebung zurückzuführen und verhält sich entsprechend folgender Formel.

$$\frac{\Delta E}{E_{ex}} \propto 1 - \frac{\lambda_{ex}}{\lambda_{em}} \quad (1)$$

Die Konversionseffizienz eines LS ist weiterhin von der Leuchtstofftemperatur abhängig. Dieser Effekt wird thermische Löschung (thermal quenching) genannt [7]. Je größer die Temperatur ist, desto weniger Licht wird konvertiert. Die Erwärmung des LS ist von seiner Dotierung (eine hohe Dotierung erzeugt viel Wärme pro Volumen), seiner Wärmeleitfähigkeit und der thermischen Anbindung an einen Kühlkörper abhängig.

## 3 Diskussion der Problemstellung

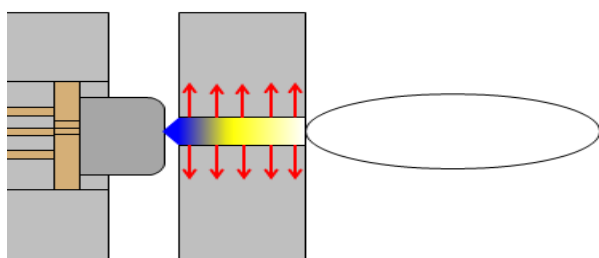
Seit geraumer Zeit beschäftigen sich Automobilhersteller, Zulieferer und Forschungseinrichtungen mit der Problematik, LD als Lichtquelle in der Automobilbeleuchtung einzuführen [2, 3, 4, 5, 6], da

Laser besonders hohe Strahldichten und somit auch Leuchtdichten realisieren.

Der Anspruch, hohe Leuchtdichten und kleine leuchtende Flächen zu erzeugen, erweist sich hierbei als Herausforderung für den Erhalt einer hohen Konversionseffizienz in der Keramik. Die Laserstrahlung muss für das Anregen kleiner Leuchtstoffplättchen (Fläche  $A < 1 \text{ mm}^2$ , Dicke  $d < 0,5 \text{ mm}$ ) fokussiert werden. Einzelne High-Power LD beanspruchen die LS mit Bestrahlungsstärken von bis zu  $5 \text{ kW/cm}^2$ . Die Strahlungsleistungen werden in typischen Leuchtstoffvolumen von kleiner  $0,5 \text{ mm}^3$  konvertiert und erwärmen den LS lokal auf mehr als  $300 \text{ °C}$ . Die thermische Verlustleistung sollte somit durch gute Wärmeleitung abgeführt werden. Für die Anregung mit Laserstrahlung hoher Strahldichte werden transluzente oder transparente, gesinterte Leuchtstoffkeramiken empfohlen [4]. Die bekannten Ansätze [3, 5] geben den Anschein, transluzente Keramiken für laserbasierte Lichtquellen in der Automobilbeleuchtung einzusetzen. Hierbei sind prozesstechnisch komplizierte Fertigungsverfahren für die thermische Anbindung notwendig [8, 9]. Transparenten Keramiken wurde bisher nur wenig Beachtung geschenkt.

#### 4 Neues Konzept für eine Weißlichtquelle

Transparente Keramiken weisen aufgrund der dichteren Gefügestruktur gegenüber transluzenten Keramiken eine bessere Wärmeleitung auf. Anregende und emittierte Strahlung werden darüber hinaus an den optischen Grenzflächen der transparenten Keramik totalreflektiert. Das Konzept LEP (Laser Embedded Phosphor) sieht einen transparenten, lichtleitenden LS vor, dessen Dotierungsgrad reduziert ist. Die Konversion der anregenden Strahlung in die emittierte Strahlung wird daher auf ein großes Volumen verteilt, was zu einer geringeren lokalen Erwärmung des LS führt.



**Abb. 1** Prinzip-Skizze des LEP Konzepts.

Der lichtleitende Leuchtstoff wird entlang der totalreflektierenden Fläche kraftschlüssig gefasst und so die thermische Kontaktierung verbessert. Erste Messungen bestätigen dies. Die Lichtleitung mischt verbleibende anregende und emittierte Strahlung zu weißem Licht. Durch die Anordnung von LD und Leuchtstoff entlang einer gemeinsamen optischen Achse sind trotz großem Leucht-

stoffvolumen kleine leuchtende Flächen realisierbar. Es gilt, die Verluste durch die isotrope Emission des LS zu minimieren, um so einen konkurrenzfähigen Lichtstrom einzuhalten, sowie die thermische Anbindung zu optimieren, ohne die Totalreflexion zu beeinträchtigen. Mit dem LEP-Modul wird das Ziel verfolgt, die thermische Beanspruchung des LS einer laserbasierte Weißlichtquelle zu verbessern und die Performance einer High-Power LED zu erreichen.

Im Zusammenhang mit LD als Beleuchtung ist das Thema Lasersicherheit ein wichtiger Bestandteil der Diskussionen. Es muss dafür gesorgt werden, dass die Strahldichte der Laserstrahlung im eingeschalteten Zustand die maximal zulässige Bestrahlungsstärke für das menschliche Auge außerhalb des Scheinwerfers nicht überschreitet. Andernfalls muss die LD abgeschaltet werden.

#### Literatur

- [1] Driving Vision News: IAA (Frankfurt motor show) 2013.  
<http://www.drivingvisionnews.com/reports/shows-and-congresses/5027> 30.09.2013 - Aufruf der URL am 16.01.2013.
- [2] R. Albou, L. Boinet, J.P. Ravier, Valeo Lighting Systems: "Very thin Headlamp with laser sources" in: 10<sup>th</sup> International Symposium on Automotive Lighting Volume 15, T.Q. Khanh (Hrsg.) (Herbert Utz Verlag GmbH 2013) S.128-139.
- [3] R. Hying, A. Nauen, T. Reiners, S. Haneder, T. Dobertin; OSRAM GmbH: "Laser Activated Remote Phosphor – the way to ultra-high luminance in headlamps" in: 10<sup>th</sup> International Symposium on Automotive Lighting Volume 15, T.Q. Khanh (Hrsg.) (Herbert Utz Verlag GmbH 2013) S.112-116.
- [4] F. Tappe, J. Meyer, Hochschule Hamm-Lippstadt: "Behaviour of different luminescent materials towards high power densities" in: 10<sup>th</sup> International Symposium on Automotive Lighting Volume 15, T.Q. Khanh (Hrsg.) (Herbert Utz Verlag GmbH 2013) S.150-158.
- [5] Y. Nakaya, Stanley Electric Co., Ltd.: "Laser/LED Hybrid Headlamp" in: 10<sup>th</sup> International Symposium on Automotive Lighting Volume 15, T.Q. Khanh (Hrsg.) (Herbert Utz Verlag GmbH 2013) S.140-149.
- [6] A. Hanafi, H. Erdl, S. Weber; BMW: "A new efficient, compact vehicular illumination system using high-power semiconductor laser diodes" in: 10<sup>th</sup> International Symposium on Automotive Lighting Volume 15, T.Q. Khanh (Hrsg.) (Herbert Utz Verlag GmbH 2013) S.159-170.
- [7] L. Bergmann, C. Schaefer, Lehrbuch der Experimentalphysik 6. Festkörper, (Walter de Gruyter 2005).
- [8] Schutzrecht WO2013/144047A1 (2013-10-03). OSRAM GmbH.
- [9] Schutzrecht DE102012206970A1 (2013-10-31). OSRAM GmbH.
- [10] S. Nakamura, S. Pearton, G. Fasol, The Blue Laser Diode: The Complete Story, (Springer Science & Business Media 2000).