

BELEUCHTUNG

Kleine Chips auf großer Fahrt

LEDs gewinnen immer mehr Bedeutung für die Automobilbeleuchtung.

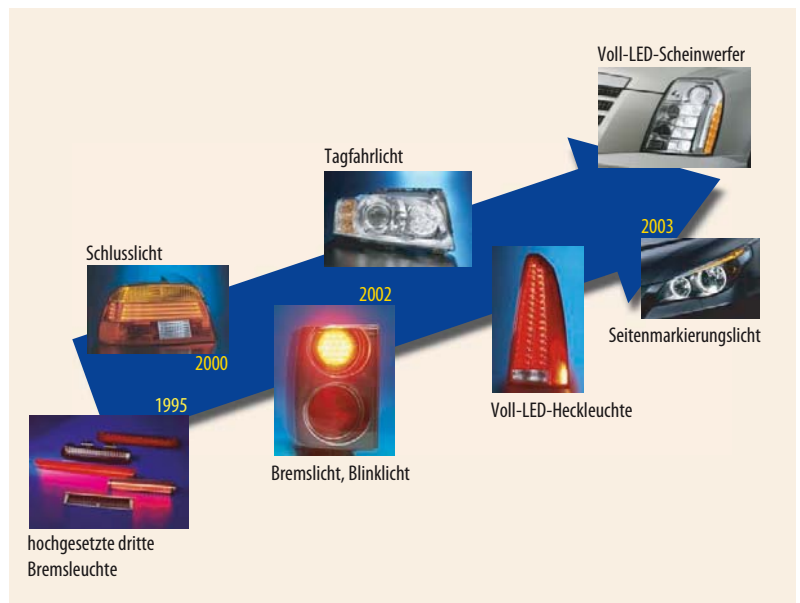
Mirco Götz und Karsten Eichhorn

Leuchtdioden erobern die Automobilbeleuchtung: Vor 15 Jahren wurden die damals noch leistungsschwachen, monochromatischen Lichtquellen zunächst nur für Bremslichter im Fahrzeugheck verwendet. Heute eignen sich weiße Hochleistungs-LEDs dagegen auch als Lichtquellen für Abblend- und Fernlicht. Künftig sollen LEDs zusammen mit einer vorausblickenden Sensorik ein Markierungslicht ermöglichen, das den Fahrer bei schlechter Sicht auf potenzielle Gefahrenstellen aufmerksam macht.

Leuchtmittlernde Dioden verbessern in vielerlei Hinsicht die Automobilbeleuchtung. So sind sie z. B. sicherer als konventionelle Glühlampen, denn während die Glühlampe ca. 200 Millisekunden benötigt, um nach Anlegen der Spannung Licht zu emittieren, leuchtet eine LED quasi sofort. So signalisiert das LED-betriebene Bremslicht dem nachfolgenden Verkehr bereits nach etwa zwei Millisekunden den Bremsvorgang. Bei einer Geschwindigkeit von 100 km/h entspricht dies immerhin einem rund fünf Meter kürzeren Bremsweg.

Mit einer Effizienz von 50 lm/W ist der Wirkungsgrad der LED bereits heute um einen Faktor vier bis fünf höher als der von Glühlampen.¹⁾ Dieser Faktor erhöht sich zudem bei Schlusslicht oder Blinklicht, bei denen es erforderlich ist, das Licht der Glühlampe über Filter an den vorgegebenen Spektralbereich anzupassen. Auch bei der Frontbeleuchtung wird die LED zunehmend konkurrenzfähig [1]: Die Effizienz einer Halogenlampe hat sie längst erreicht, nun bewegt sie sich mit großen Schritten auf die Entladungslampe (Xenon-Lampe) mit ca. 90 lm/W zu (Tab.). LED-Hersteller prognostizieren, dass dieser Wert in etwa fünf Jahren erreicht wird.

Ein wesentlicher Vorteil der LED ist ihre hohe Lebensdauer. Mit einigen 10 000 Stunden liegt sie um zwei Größenordnungen über der von Glüh- bzw. Halogenlampen und eine Größenordnung über der von Gasentladungslampen. Insbesondere beim Einsatz von weißen Hochleistungs-LEDs als Lichtquellen für Abblend- und Fernlicht zeigt sich ein weiterer Vorteil: die Lichtfarbe. Mit einer korrelierten Farbtemperatur von ungefähr 5500 K ist das Licht einer weißen LED wesentlich näher an der Farbtemperatur der Sonne als das einer Halogenlampe (3200 K) oder einer Gasentladungslampe (4200 K). Der erhöhte Blauanteil führt



Während LEDs vor 15 Jahren zunächst für die dritte Bremsleuchte und die Innenraumbeleuchtung verwendet wurden,

bieten sie heute im Voll-LED-Scheinwerfer nicht nur sportliches Design, sondern auch komfortable Straßenausleuchtung.

zu einer verbesserten Wahrnehmung bei Dämmerung und Dunkelheit, da beim Übergang vom Tag- zum Nachtsehen das menschliche Auge zunehmend blauempfindlich wird [2]. Während am Tag das Helligkeitsempfinden bei etwa 555 nm am größten ist, liegt das Maximum in der Nacht bei 507 nm.

Nachdem Leuchtdioden zunächst nur in der Automobilinnenbeleuchtung zum Einsatz kamen, eroberten sie Anfang der 1990er-Jahre mit der hochgesetzten dritten Bremsleuchte auch die Außenbeleuchtung. Ungefähr zehn Jahre später implementierten die Fahr-

¹⁾ Für die Definition der Kenngrößen vgl. das Glossar auf S. 22.

KOMPAKT

- Seit einigen Jahren kommen LEDs immer häufiger in der Automobilbeleuchtung zum Einsatz.
- LEDs bieten einige Vorteile, z. B. kurze Ansprechzeiten, lange Lebensdauer und neue Möglichkeiten für das Scheinwerferdesign.
- Für die Automobilbeleuchtung mit LEDs sind komplexe Lichtsysteme nötig. Mehrere Lichtquellen in einem Scheinwerfer schaffen zusammen mit verschiedenen Linsen und anderen Optikelementen die gewünschte Lichtverteilung.
- Da die LEDs sich erhitzen, ist ein Kühlsystem erforderlich.

Dr. Mirco Götz und Dr. Karsten Eichhorn, Hella KGaA Hueck & Co., Rixberger Str. 75, 59552 Lippstadt

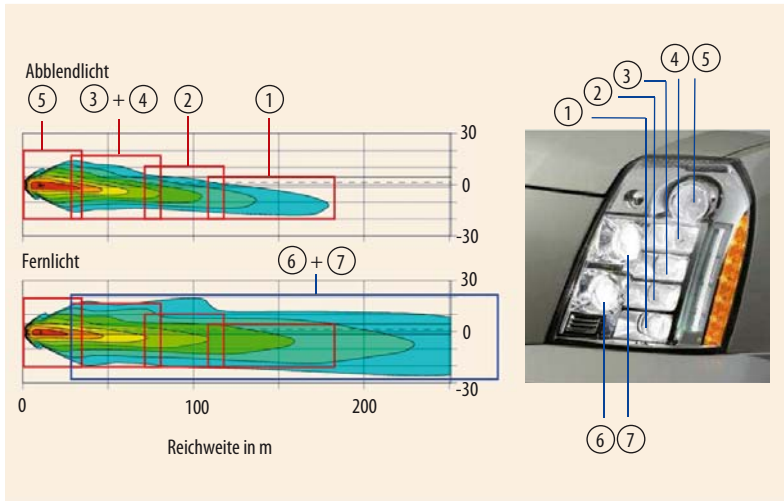


Abb. 1 Mithilfe der Linsen 1 bis 5 wird die Abblendlichtverteilung erzeugt. Zwei zusätzliche Linsen (6 und 7) weiten den Lichtkegel für das Fernlicht auf über 250 m aus.

zeughersteller sie bei den Heckleuchten. Zunächst realisierten sie mit unterschiedlichen optischen Systemen das Schlusslicht, dann das Blink- und Bremslicht. Heute sind weit über 90 % der hochgesetzten Bremsleuchten und rund 25 % der Heckleuchten mit LEDs ausgestattet.

Seit 2000 reicht die Leistung von weißen LEDs für erste Leuchtenfunktionen im Scheinwerfer aus. Positions- und Tagfahrlicht sind geradezu prädestiniert für den Einsatz der LEDs, da sich durch einfaches Abdimmen der LEDs aus dem Tagfahrlicht das Positionslicht erzeugen lässt. Während das Tagfahrlicht die Erkennbarkeit eines Fahrzeuges bei Tage erhöht, dient das Positionslicht dazu, die Abmessungen des Fahrzeuges zu verdeutlichen. Es ist immer mit dem Abblendlicht oder Fernlicht eingeschaltet und dient zusätzlich als Standlicht beim Parken auf dunklen Straßen. Der Einsatz von LEDs spart insbesondere bei diesen Lichtfunktionen Energie. So ist für eine LED-Tagfahrleuchte bereits heute eine Energieersparnis von über 60 % gegenüber einer konventionellen Tagfahrleuchte möglich. Mit einer LED-Tagfahrleuchte anstelle eines Halogen-Abblendlichts reduziert sich der Energieverbrauch um über 90 % [3]. Neben den Signalfunktionen, die dem Fahrer helfen, besser gesehen zu

Lichtquelle	Effizienz in lm/W	Leuchtdichte in Mcd/m ²
Halogen	~ 25	~ 20 – 30
Xenon-Lampe	~ 90	~ 90
LED	~ 50 – 70	~ 40 – 50

Tab. Noch sind Xenon-Lampen den LEDs bezüglich Effizienz und Leuchtdichte überlegen, doch für die Dioden ist in den nächsten Jahren eine rasante Entwicklung zu erwarten.

werden, gibt es die Hauptlichtfunktionen, die dazu dienen, dass er besser sieht – also Abblend- und Fernlicht. Seit 2008 lassen sich auch diese mittels LEDs umsetzen.

Eine große Herausforderung beim Einsatz von LEDs in der Automobilbeleuchtung stellt das je nach Anwendung maßgeschneiderte Lichtsystem dar. So ist es zunächst erforderlich, geeignete Lichtquellen auszuwählen und dazu die lichtverteilende Optik, die elektronische Ansteuerung, das Thermo- und Klimamanagement und die Verbindungstechnik zu entwickeln.

Sehen ...

Um die Hauptlichtfunktionen zu realisieren, sind LEDs mit hoher Leuchtdichte und hohem Lichtstrom erforderlich. Vorzugsweise kommen hierfür Mehrchip-LEDs zum Einsatz, bei denen typischerweise zwei bis fünf Chips auf einem gemeinsamen Substrat angeordnet sind. Diese müssen temperatur- und feuchtigkeitsbeständig sein und durch die Chipanordnung und die Geometrie eine scharfe Hell-Dunkel-Grenze für das Abblendlicht generieren. Aufgrund ihrer derzeitigen Leistung ist es nicht möglich, das gesamte Abblendlicht eines Scheinwerfers mit einem einzelnen LED-Chip zu erzeugen. Stattdessen setzt sich die Gesamtlichtverteilung aus Teilverteilungen zusammen.

Das Beispiel des Voll-LED-Scheinwerfers für den Cadillac Escalade Platinum soll im Folgenden die einzelnen Komponenten eines LED-Scheinwerfersystems ausführlicher erläutern. Fünf Freiformlinsen erzeugen darin zusammen die Abblendlichtverteilung (Abb. 1). Jede dieser Linsen bildet eine 5-Chip-LED ab und ist für eine bestimmte Teillichtverteilung ausgerichtet.

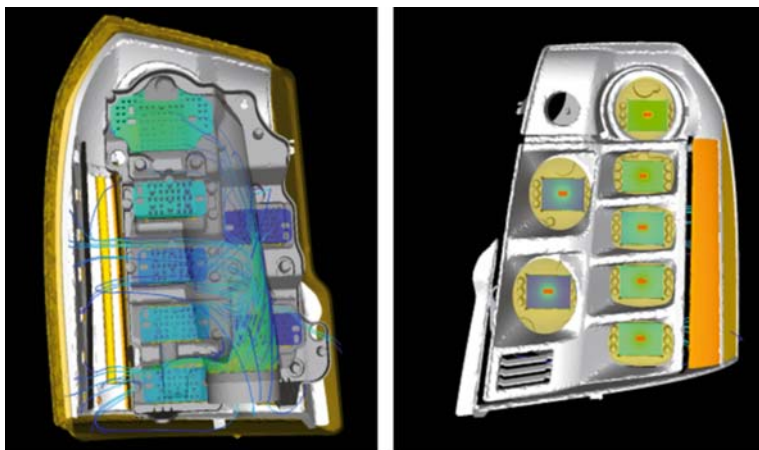


Abb. 2 Um die Kühlung eines LED-Moduls zu optimieren, wird der Strömungsverlauf der Luft simuliert und durch Strömungslinien sichtbar gemacht (links). Auch der Temperaturverlauf im Scheinwerfer lässt sich simulieren (rechts). Da die Wärmeentwicklung nur in einem eng begrenzten Bereich (LED-Chip, rot) geschieht, erwärmen sich die Chips stark, was die Kühlung besonders wichtig macht.

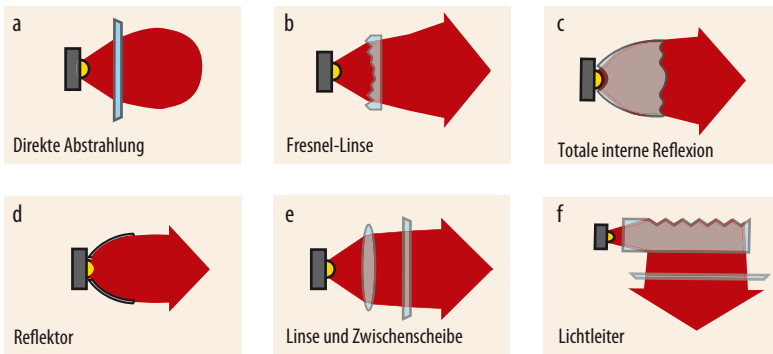


Abb. 3 Verschiedene optische Grundelemente sind nötig, um Signalfunktionen mit LEDs zu verwirklichen. Verwendet werden sie typischerweise für Seitenmarkierungslicht (a), Schlusslicht, Bremslicht, Blinklicht (b-e), Schlusslicht, Positionslicht, Tagfahrlicht (f). Die Auswahl der Elemente hängt hauptsächlich vom Design des Scheinwerfers ab.

Erst die Überlagerung der Teillichtverteilungen bildet das Abblendlicht. Bei einem LED-Scheinwerfer werden nur die Lichtquellen eingeschaltet, die für die jeweilige Lichtfunktion notwendig sind, sodass für das Fernlicht zwei weitere Mehrchip-LEDs hinzugeschaltet werden. Insgesamt kommen als Lichtquellen also sieben identische 5-Chip-LEDs zum Einsatz. Die Herausforderung der Optikentwicklung besteht darin, gleichzeitig die Teil- sowie die Gesamtlichtverteilung zu optimieren.

Nach der optischen Auslegung gilt es im nächsten Schritt, die Wärmeentwicklung zu simulieren (**Abb. 2**). Da die LEDs einen großen Anteil der eingespeisten elektrischen Leistung in Wärme umsetzen (> 80 % bei weißen LEDs), ist es notwendig, sie während des Betriebs zu kühlen. Dazu dient ein spezielles Thermomanagement, das vom Scheinwerferdesign und den entsprechenden Optikelementen abhängt. Kühlkörper führen die Wärme ab. Ihre Effizienz muss gegebenenfalls durch die Erzeugung eines Luftstroms um die Kühlrippen erhöht werden (erzwungene Konvektion). Die warme Luft wird an der Scheinwerfer-Abschlusscheibe vorbeigeleitet, so wirkt sie dort einer Betauung und Vereisung entgegen. Strömungssimulationen helfen, die Anströmung der LED-Kühlkörper so ausulegen, dass sich die Lichtquellen im thermisch unkritischen Bereich betreiben lassen.

Durch die Kühlkörper und die Vielzahl an Optiksyste-men ist ein Voll-LED-Scheinwerfer in der Regel schwerer als konventionelle Systeme. Um seine Vibrations- und Verwindungsfestigkeit zu optimieren, ist es erforderlich, auf Basis der CAD-Daten (Computer Aided Design) seine Festigkeit zu simulieren. Die Ergebnisse der Berechnungen fließen in die Materialauswahl und die mechanischen Konzepte ein.

Das Gesamtsystem enthält außer dem LED-Hauptlichtmodul mit Linsen, Kühlkörper, Zuleitungen, Lichtquellen und Lüfter sowie weiteren Optiken für die Signalfunktionen auch eine Abschlusscheibe, Zierblenden, ein Scheinwerfergehäuse und ein elektronisches Ansteuergerät. Diese Komplexität erfordert trotz ausführlicher Berechnungen und Simulationen vor der Industrialisierung den Aufbau von Prototypen. Damit lassen sich Lichttechnik, Festigkeit, das Temperaturverhalten und Montagekonzepte überprüfen.

... und gesehen werden

Signalfunktionen sind sowohl im Fahrzeugheck (z. B. Schlusslicht, Bremslicht, Nebelschlusslicht, rückseitiges Blinklicht) als auch in der Fahrzeugfront (z. B. Tagfahrlicht, Positionslicht und vorderes Blinklicht) angeordnet. Insbesondere die Lichter im Fahrzeugheck sind wichtige Designelemente eines Fahrzeuges. Auch bei ihnen steht der Systemgedanke im Mittelpunkt. Da die lichttechnischen Anforderungen jedoch insgesamt geringer sind als bei den Hauptlichtfunktionen, bilden Thermomanagement und Justagekonzepte kleinere Hürden. Die Herausforderungen ergeben sich bei der Umsetzung der Designvorgaben.

Um eine Designidee des Fahrzeugherstellers umzusetzen, steht dem Optikentwickler eine Art „Baukasten“ an optischen Grundelementen zur Verfügung, die er als Basis verwendet und an die jeweilige Anwendung anpasst (**Abb. 3**). Dabei muss er gesetzliche Vorgaben zur Lichtverteilung und Lichtstärke erfüllen und die Anzahl der benötigten LEDs, ihre Anordnung auf den Leiterplatten sowie den zur Verfügung stehenden Bauraum bedenken. Die an die jeweiligen Anforderungen angepassten Optikelemente gilt es, direkt in das CAD-Modell der Heckleuchte zu integrieren. Raytracing-Simulationen basierend auf dem bekannten Abstrahlverhalten der LEDs zeigen, ob die lichttechnischen Ansprüche an die Heckleuchte erfüllt sind oder ob das System weiter zu optimieren ist.



Abb. 4 Noch ist das Zukunftsmusik: Erkennt eine vorausblickende Sensorik eine potenzielle Gefahr, schalten sich

einzelne Chips eines LED-Arrays an, und das Markierungslicht beleuchtet die Gefahrenstelle.

In der Regel sind hier mehrere Entwicklungsschleifen unter Einbeziehung von Konstruktion und Design notwendig.

Obwohl LEDs bereits heute ein fester Bestandteil in der automobilen Beleuchtungstechnik geworden sind, ist ihr Potenzial noch lange nicht ausgeschöpft. Künftig werden die speziellen Eigenschaften der Halbleiterlichtquellen neue, intelligente Lichtfunktionen ermöglichen.

Mehr Licht für mehr Sicherheit

Als Lichtquelle für zukünftige Scheinwerfer-Generationen wird derzeit an LED-Arrays gearbeitet (Abb. 4). Diese bestehen aus einer Vielzahl von LED-Chips, die einzeln anzusprechen und in Form einer Matrix auf einem gemeinsamen Substrat angeordnet sind. Durch Pulsweiten-Modulation lassen sich einzelne Lichtquellen sowohl an- und abschalten als auch dimmen, was die Intensität der Lichtverteilung verändert.

Bereits heute ist in einigen Serienfahrzeugen eine vorausblickende Sensorik üblich. Wird sie an LED-Array-Scheinwerfer gekoppelt, lässt sich z. B. ein markierendes Licht erzeugen, welches potenziell gefährliche Objekte oder Situationen gezielt anleuchtet und somit die Aufmerksamkeit des Fahrers auf diese Bereiche lenkt, ohne dass dieser seinen Blick vom Verkehrsraum abwenden muss [4].

Literatur

- [1] S. Nakamura, T. Mukai und M. Senoh, Appl. Phys. Lett. 64, 1687 (1994)
- [2] R. Lachmayer, M. Götz, M. Kleinkes und W. Pohlmann, ATZ 108, 956 (2006)
- [3] D. Decker und M. Kleinkes, ATZelektronik, 4, 28 (2009)
- [4] K. Eichhorn, M. Götz, A. Himmler und J. Roslak, ATZ, 107, 978 (2005)

DIE AUTOREN

Mirco Götz (FV Dünne Schichten) studierte Physik an der Uni Göttingen und promovierte an der TU München. Dort beschäftigte er sich mit der zeitaufgelösten, optischen Spektroskopie ultraschneller Elektrontransfer-Prozesse. Seit 2003 ist er bei der Hella KGaA Hueck & Co., wo er seit 2009 in der lichttechnischen Serienentwicklung die Optikauslegung leitet.



Karsten Eichhorn (FV Chemische Physik und Polymerphysik) fasziniert Phänomene der Optik seit seinem Physikstudium an der Uni Oldenburg. Nach Arbeiten an polymeren Lichtleitern als wissenschaftlicher Mitarbeiter am MPI für Polymerforschung in Mainz promovierte er in den Materialwissenschaften an der Uni des Saarlandes. Seit 1995 arbeitet er bei der Hella KGaA Hueck & Co. in Lippstadt. Dort leitet er derzeit die lichttechnische Serienentwicklung.

