

# Lichtleiter in Automotive Anwendungen

Mario Wanninger, Bernd Merz, 30. Juni 2008, DELVIS GmbH

## 1 Einleitung

Automobilbeleuchtung ohne Lichtleiter ist kaum mehr vorstellbar. In den Standardanwendungen im automobilen Innenraum verrichten sie meist unscheinbar, hinter einem LCD oder einer Diffusorscheibe, ihre Arbeit. Sie sorgen für die Ausleuchtung von Displays und Bedienelementen und tauchen das Fahrzeuginnere in ambientes Licht. Der Artikel beschreibt die grundsätzliche Vorgehensweise bei der Berechnung und Optimierung am Beispiel einer LCD-Hinterleuchtung.

Mehr und mehr betreten wir mit Lichtleitern Bereiche, die den klassischen reflektiven oder refraktiven Optiken vorbehalten waren. So sehen wir bereits jetzt viele Funktionsleuchten im automobilen Außenbereich in Lichtleitertechnik realisiert: hochgesetzte dritte Bremsleuchte, Rücklicht, Spiegelblinker, Positionslicht, usw.. Darüber hinaus sehen wir Anwendungen, in denen Lichtleiter als unterstützendes Designelement eingesetzt werden – die Funktion wird dabei nicht oder nur teilweise vom Lichtleiter realisiert.

Der Artikel zeigt auf, welche besonderen Anforderungen erfüllt werden müssen, wenn Lichtleiter als Funktionsleuchte am Fahrzeug eingesetzt werden. Sehr häufig kommen linienförmige Lichtleiter, Lichtleitstäbe, zum Einsatz. Mit Kerben auf der Rückseite steuert man sowohl die Homogenität der Leuchtdichte entlang des Lichtleiters als auch die Abstrahlcharakteristik. Zusätzliche Designfreiheit ist möglich durch partielle Strukturierung flächiger Lichtleiter. Die optimale Positionierung und Ausrichtung der Auskoppelstrukturen zählt dabei zu den größten Herausforderungen. Der Artikel zeigt die grundsätzliche Vorgehensweise bei Konstruktion und Optimierung dieser Lichtleiter.

## 2 Interior

### 2.1 Anwendungen

Im Innenbereich des KFZ werden Lichtleiter oft aus Styling-Gründen integriert. Hier sollen sie in erster Linie für angenehmes, unaufdringliches, ambientes Licht sorgen. Die Leuchtdichten sind gering, die Beleuchtung erleichtert die Orientierung. Die leuchtende Fläche ist exponiert und kann in der Regel berührt werden. Sehr oft handelt es sich um linienförmige Geometrien, diffus abstrahlend, die eine homogene Leuchtdichte über weite Strecken aufweisen soll.



Abb. 1, Ambiente Beleuchtung

Insbesondere im Bereich des Cockpits und der Mittelkonsole finden sich vielfältige Anzeige- und Bedienelemente: Multifunktionsdisplay, Geschwindigkeitsanzeige, Radio- und Klimabedienteil etc. Lichtleiter werden hier eingesetzt, um Symbole und Anzeigeelemente zu beleuchten („Suchbeleuchtung“) oder um eine flächige

Hinterleuchtung für ein LCD zur Verfügung zu stellen. Die Leuchtdichten für Displays bewegen sich je nach Wellenlänge und Displaytyp (positiv oder negativ Darstellung) in einem Bereich von etwa  $2\text{cd/m}^2$  bis  $150\text{cd/m}^2$ . Das Hinterleuchten eines LCD erfordert eine flächige Geometrie, homogen ausgeleuchtet (je nach OEM, Wellenlänge und Leuchtdichteniveau  $\pm 30\%$  oder besser) und diffus abstrahlend (Ablesbarkeit für Fahrer und Beifahrer).



Abb. 2, Zeiger- und Symbolbeleuchtung, Displayhinterleuchtung

## 2.2 LCD Hinterleuchtung

### 2.2.1 Funktionsweise

Das optische Element „Lichtleiter“ ist in geometrischer Hinsicht in aller Regel ein Quader mit einer Grundfläche die etwas größer ist als die von der Blende freigegebene Sichtfläche des LCDs. Eine typische Höhe ist 3,5mm. Verwendete Materialien sind z.B. transparentes PMMA oder PC.

Über die Seitenflächen wird Licht eingekoppelt. Punktuell angeordnete Quellen, meist entlang einer oder zweier gegenüberliegender Seiten, speisen den Lichtleiter.

Der Lichttransport innerhalb des Plastikteils erfolgt über Totalreflexion (TIR). Um Licht gezielt auszukoppeln, werden Störstellen generiert, die die TIR-Bedingung unterbinden. Meist handelt es sich um diffus streuende Bereiche.

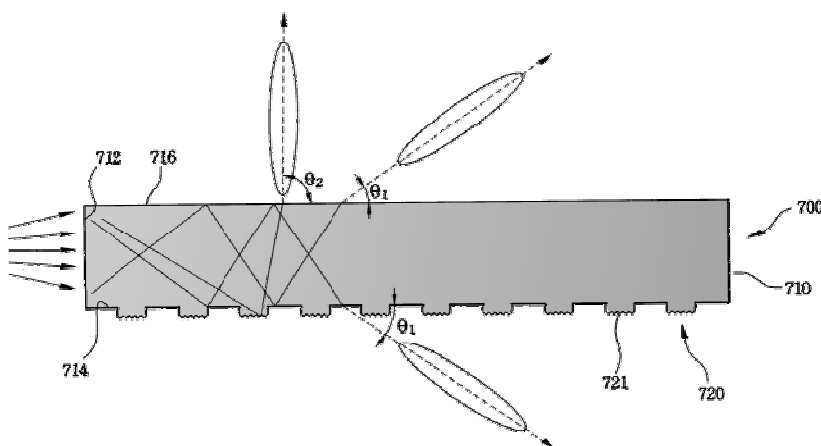
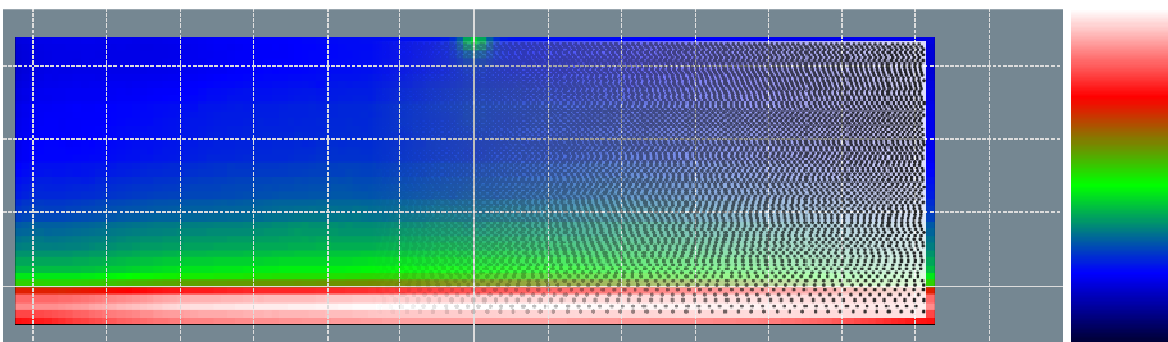


Abb. 3, Schematisch: Schnitt durch einen Lichtleiter mit Einstrahlung von Links. Strukturierung über raue Bereiche auf der Rückseite des Lichtleiters.

### 2.2.2 Lichtauskoppelung

Diffuse Streuung im Volumen ist über eine entsprechende Materialauswahl möglich. Für Hinterleuchtungszwecke bekannt sind transparente Grundmaterialien welche mit transparenten Mikrokugeln mit leicht unterschiedlichem Brechungsindex versetzt sind. Diese sorgen für Streuung in Vorwärtsrichtung. Die Einflussnahme auf die Homogenität der Lichtverteilung ist aufgrund der konstanten „Diffusität“ des Materials begrenzt. Je nach Lichtquellenanordnung ist das Verhältnis Länge/Breite des Lichtleiters beschränkt.

Das gezielte Einbringen von diffusen Bereichen in transparente Materialien erfolgt über partielles Aufrauen. Für ein im Spritzgussverfahren hergestelltes Bauteil gibt es dafür mehrere Arten der Realisierung: das Werkzeug wird an den entsprechenden Stellen aufgeraut per Ätzung, im Erodierverfahren oder mittels eines Laserstrahls. Die so genannte „Struktur“ wird eingebracht. Anders als bei der Verwendung von volumendiffusen Materialien ist hier die Rauigkeit an jeder Stelle des Lichtleiters kontrollierbar. Die Grundidee ist, an Orten mit „viel Licht“ eine geringere Rauigkeit zu erzeugen als an Orten mit „wenig Licht“.



**Abb. 4, Schematisch: „Lichtverteilung“ innerhalb eines Lichtleiters in qualitativer Falschfarbendarstellung. Dem überlagert wird die Verteilung der Störstellen angedeutet.**

### 2.2.3 Strukturoptimierung

Um eine passende Struktur zu berechnen, bedient man sich entweder kommerziell verfügbarer Optikdesignprogramme, selbst entwickelter Software oder einer Kombination aus beidem. Die Strukturberechnung an sich ist ein Optimierungsprozess. Es lässt sich immer nur eine „Momentaufnahme“ der Lichtverteilung bewerten und in eine entsprechende Struktur umsetzen. Mit einer sich verändernden Struktur verändert sich aber auch die Lichtverteilung. Daher ist ein iteratives Vorgehen notwendig, um eine optimale Struktur zu erhalten.

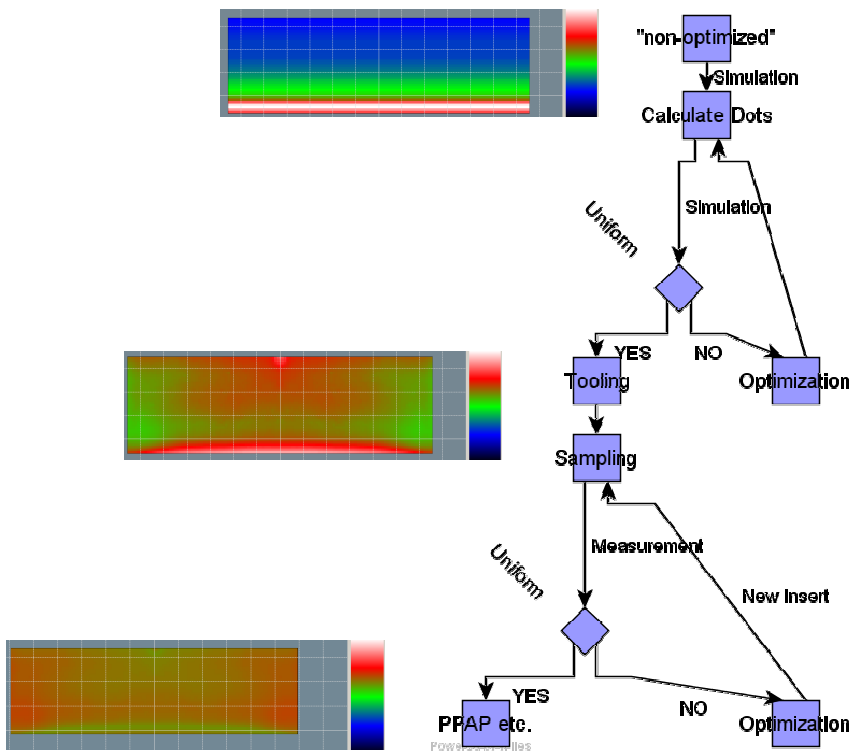


Abb. 5, Prinzipielles Vorgehen bei der Strukturoptimierung

Durch diese Vorgehensweise lassen sich auch Einflüsse mit in die Struktur einarbeiten, die nur schwer simulationstechnisch zu erfassen sind. Leuchtdichtebilder abgemusterter Teile zeigen die von der Simulation abweichende Realität. Z.B. können Anspritzpunkte erkennbar sein oder das Fließverhalten ist nicht homogen und entsprechend die Struktur an unterschiedlichen Orten unterschiedlich rau. Obwohl vom Aufbau her symmetrisch konzipiert, kann die Leuchtdichteverteilung dann unsymmetrisch verlaufen. Dies lässt sich bei der Optimierung berücksichtigen.

#### 2.2.4 Vom Prototypen zum Serienprodukt

Funktionsmuster in einer frühen Projektphase lassen sich durch Aufrauen eines Lichtleiterrohlings mit Sandpapier erzeugen. Anmutung und Reproduzierbarkeit des Ergebnisses sind dabei jedoch nicht optimal. Bessere Ergebnisse lassen sich erzielen durch Laserstrukturierung eines Rohlings. Die Struktur wird dabei durch Materialabtrag direkt in den Rohling geschrieben. Das Ergebnis ist ein kostengünstiges, seriennahes Funktionsmuster mit kurzer Produktionszeit.

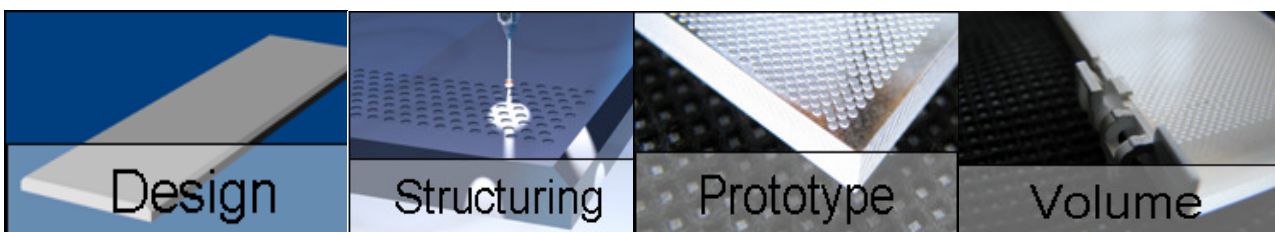
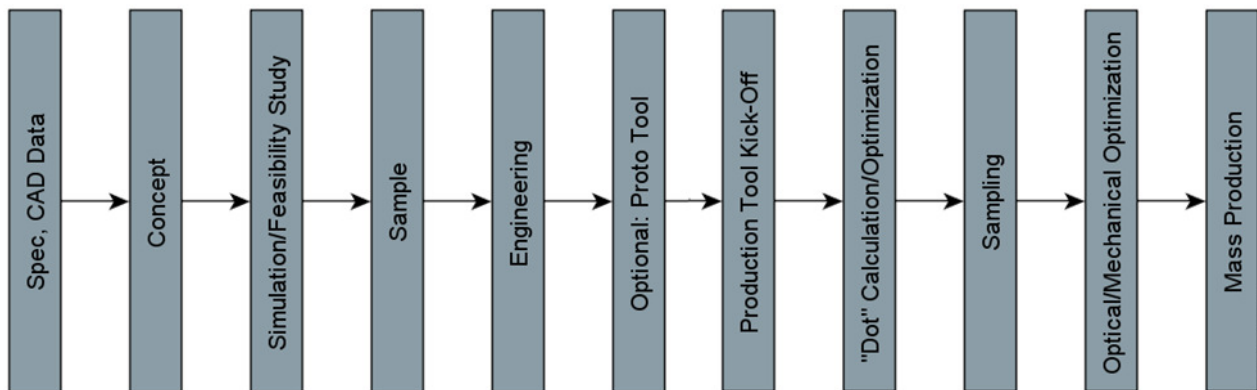


Abb. 6, Vom Konzept zur Serienfertigung

Gewöhnlich sprechen wir vom Lichtleiter als eine zweiteilige Baugruppe. Die transparente Komponente wird i.d.R. eingerahmt von einem Reflektor. Dieser erhöht die Effizienz, da

Licht, das über die Rückseite ungenutzt austreten würde, nach vorne (in Richtung LCD) zurück reflektiert wird.

In den allermeisten Fällen erfüllt der Reflektor zusätzliche mechanische Funktionen. So kann er als Bindeglied zwischen Platine und LCD mit Clips versehen werden und diese Komponenten miteinander verbinden. Sofern das LCD über einen Leitgummi kontaktiert wird, kann der Reflektor diesen in Position halten. Über federnde Elemente kann ein Toleranzausgleich in der Gesamtbaugruppe eingebaut werden.



**Abb. 7, Prinzipieller Verlauf eines Lichtleiter Projektes**

Hinsichtlich Herstellbarkeit lässt sich ein Lichtleiter nur auf den ersten Blick mit normalen Plastikteilen vergleichen. Als transparentes optisches Bauteil mit Mikrostruktur sind die Anforderungen an Werkzeug, Maschine und Operator ungleich höher: gute Abformung der Struktur, Transparenz ohne Gelbstich, keine Fließlinien, keine Verunreinigung.

Je nach verwendetem Material kann eine Vorbehandlung des Granulats notwendig sein. Die Zykluszeit für ein derartiges Bauteil kann je nach Größe 1 Minute und länger dauern. Werkzeugtechnisch sind die Konzeption der Kühlung, die Lage des Anspritzpunktes, die Art des Verteilersystems usw. zu berücksichtigen.

Beim Zusammenbau von Lichtleiter und Reflektor werden per Sichtkontrolle die mit dem Auge erkennbaren fehlerhaften Teile ausgesondert. Das erfordert entsprechend geschultes Personal und saubere, gut ausgeleuchtete Arbeitsplätze. Die Prüfung von optischen und mechanischen Kennzahlen findet serienbegleitend mit der entsprechenden Messtechnik statt, um eine reibungslose Produktion mit gleich bleibender Qualität sicher zu stellen.



Quelle: [www.dpg.de](http://www.dpg.de)

**Abb. 8, Beispiel einer Spritzgussmaschine**

### 3 Exterior

#### 3.1 Anwendungen

Im Front-, Heck- und Seitenbereich des KFZ finden wir in aller Regel Leuchten, die eine bestimmte Funktion zu erfüllen haben. Positionslicht oder Tagfahrlicht im Frontbereich, Blinkleuchte oder Markierungsleuchte im Seitenbereich, Schlusslicht oder Bremslicht im Heckbereich sind einige Beispiele.

Da die Lichtfunktionen das Erscheinungsbild des Autos entscheidend mitbestimmen, spielen insbesondere auch hier ästhetische Gesichtspunkte eine Rolle. So werden Lichtleiter vom Design gezielt zur optischen Aufwertung eingesetzt. Die Funktion kann ganz oder teilweise vom Lichtleiter übernommen werden – je nach Anforderung der konkreten Leuchte.

Zusätzlich zu einer über die gesamte Lichtleiterlänge homogenen Leuchtdichte sind hier die gesetzlichen lichttechnischen Anforderungen der Leuchte zu erfüllen. Je nach Funktion sind die geforderten Lichtstärken sehr hoch und erfordern eine gerichtete Abstrahlung (im Sinne einer engen Abstrahlcharakteristik). Der Effizienz wird daher meist auch mehr Rechnung getragen als im Innenbereich. Außerdem erfordert die Außenhautgeometrie, anders als bei LCD-Hinterleuchtungen, sehr oft gekrümmte Formen.



Abb. 9, Beispiele für mögliche Lichtleiteranwendungen im Außenbereich

#### 3.2 Linienförmige Funktionsleuchten

Linienförmige Geometrien sind die Geometrien, die im Außenbereich am weitesten verbreitet sind. Dazu zählen auch gekrümmte Linien oder Ringe. Eine diffus streuende Strukturierung für die Lichtauskopplung scheidet in der Regel wegen der geforderten Lichtstärken aus. Stattdessen bedient man sich Kerben auf der Lichtleiterrückseite, um das Licht gerichtet auszukoppeln und abzustrahlen. Das grundsätzliche Funktionsprinzip ist ansonsten sehr ähnlich zur LCD-Hinterleuchtung.

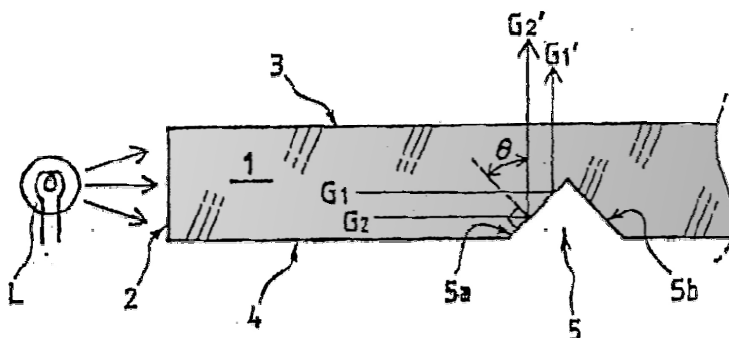


Abb. 10, Schematische Darstellung, Schnitt durch einen Lichtleiter mit Kerbenstruktur

Eine Herausforderung hier ist es, Effizienz, Leuchtdichtehomogenität, Abstrahlcharakteristik und Design (Krümmungen) in Einklang zu bringen. Jeder Parameter beeinflusst die anderen und kann nicht für sich alleine betrachtet werden. Zum Beispiel kann ein auf Effizienz optimierter Lichtleiterstab weder homogen ausgeleuchtet noch stark gekrümmt sein.

Hauptaufgabe bei der Optikentwicklung ist wie bei der LCD-Hinterleuchtung die Optimierung der Auskoppelstruktur – in diesem Fall die rückseitigen Kerben in „Tiefe“ und „Anstellwinkel“.

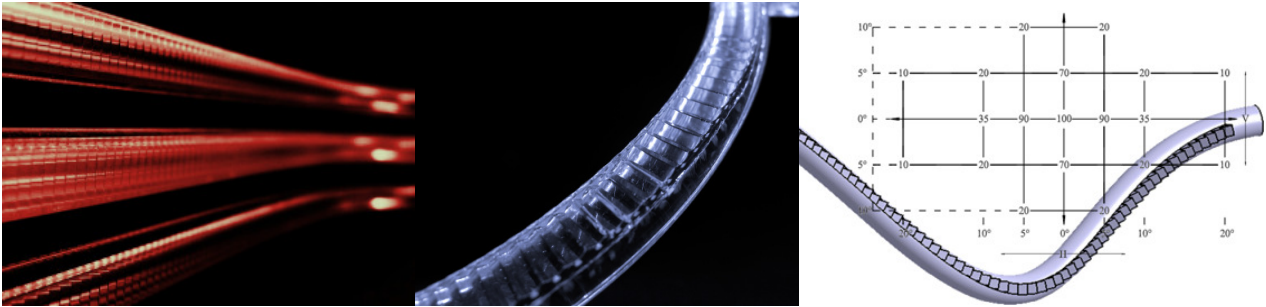


Abb. 11, Lichtleiter für Rücklicht und Positionslight

### 3.3 Flächige Funktionsleuchten

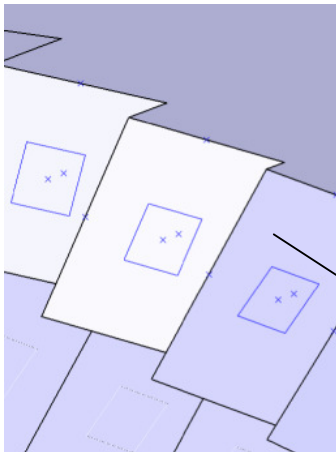
Abhängig vom gewünschten Erscheinungsbild kann eine Lichtleiterlösung sinnvoll sein, die grundsätzlich in der Lage ist, eine größere Fläche zu beleuchten. Dabei muss keineswegs die maximal mögliche Fläche beleuchtet werden – je nach Designvorgabe können Linien/Symbole/Grafiken entsprechend eingeprägt und der Lichtleiter partiell aktiviert werden.



Abb. 12, Rückleuchten, Beispiel mit und ohne Lichtleiter

Da auch in diesem Fall gesetzlich geforderte Lichtwerte zu erfüllen, sind erfolgt die Strukturierung ebenfalls mit rückseitigen Kerben.

Wollte man als plakatives Beispiel das DELVIS Logo als Schlusslicht zum Leuchten bringen, ist folgende Vorgehensweise erforderlich: im ersten Schritt muss der Lichtleitergrundkörper gemäß Designvorgabe erstellt werden. Danach wird das DELVIS Logo in eine CAD-Geometrie umgewandelt und in Kerben zerlegt. Die Kerbenoptimierung erfolgt hinsichtlich Leuchtdichtehomogenität und Abstrahlcharakteristik.



**Abb. 13, Umsetzung der DELVIS Grafik in CAD-Geometrie (Kerben)**

Die Kerbenoptimierung ist die Herausforderung bei dieser Lichtleiterart. Die Vielzahl der freien Parameter (Tiefe und Anstellwinkel für jede Kerbe) erfordert intelligente Optimierungsstrategien, um in endlicher Zeit ein hinreichend gutes Ergebnis zu erhalten.

Die Effizienz einer solchen Lösung ist geringer als bei einfachen Lichtleiterstäben. Auch die Einflussnahme auf die Abstrahlcharakteristik ist schwieriger. Jedoch sehen wir hier eine Lösung, die mehrere einzelne optische Elemente, z. B. Reflektoren, Linsen oder Lichtleiterstäbe, ersetzen und neue Stylingmöglichkeiten eröffnen kann.

#### **4 Fazit**

Lichtleitern im Automobil eröffnen sich immer mehr Einsatzmöglichkeiten. Kontinuierliche Verbesserung der LED-Technologie und Weiterentwicklung der Entwicklungs- und Optimierungstools bereiten den Weg dafür.