

## ■ Ein Teppich aus Licht

Den Boden direkt neben einem Fahrzeug zu beleuchten, ist schwieriger als man denkt. Wenn konventionelle Optiken nicht infrage kommen, sind Mikrolinsen die Lösung.

**B**eim nächtlichen Ein- und Aussteigen auf einem schlecht ausgeleuchteten Parkplatz tritt man schon mal unbeabsichtigt in eine Pfütze oder stolpert über ein Hindernis. Daher gibt es bei manchen Fahrzeugen eine Art Außenbeleuchtung, die in Tür oder Außenspiegel integriert ist und den Boden erhellen soll. Allerdings wandert das Licht, wenn der Fahrer die Tür bewegt, oder ist mitunter gar nicht zu sehen, wenn die Tür geschlossen ist. Um das zu vermeiden, lässt sich neuerdings bei manchen Autos eine Umfeldbeleuchtung zuschalten, die gezielt den Boden vor den Türen erhellt. Optisch gesehen handelt es sich dabei um eine Projektion: Das Licht einer hellen Quelle durchstrahlt ein Dia, und ein Objektiv vergrößert das Bild, das auf einer Leinwand erscheint. Die Lichtquelle ist im Fall des Fahrzeugs eine leistungsfähige LED. Auf dem Dia ist die Struktur abgebildet, die später auf dem Boden – in diesem Fall die Leinwand – erscheinen soll.

Bei dieser Art der Umfeldbeleuchtung bringt ein klassischer Projektor mit einem Einzelobjektiv jedoch eine grundsätzliche Einschränkung mit sich: Wie hell die projizierten Bilder wirken, hängt von der Größe des Objektivs ab. Denn der Durchmesser des Objektivs skaliert mit seiner Baulänge, weil bei der Projektion das Licht unter einem gegebenen Öffnungswinkel auf das Objektiv trifft.



Mit Hilfe einer Umfeldbeleuchtung lässt sich der Boden entlang des Autos von den Fronttüren bis zum Heck erhellen.

Die Projektionseinheiten dafür befinden sich unter dem Türeinstieg an der Karosserie des Wagens.

Um ein größeres Objektiv auszuleuchten, muss es bei gleichem Öffnungswinkel in einer größeren Entfernung von der Lichtquelle stehen. Gleichzeitig bestimmt der Durchmesser des Objektivs den Lichtstrom, also die Lichtmenge, die pro Zeiteinheit durch das Objektiv tritt. Der begrenzte Platz im Schweller – dem Teil der Karosserie unter dem Türeinstieg – führt bei einem Einzelobjektiv dazu, dass der Lichtstrom nicht ausreicht, um das Umfeld ausreichend auszuleuchten.

Ein ähnliches Problem ist vom Gartenschlauch bekannt: Schrumpft sein Durchmesser, tritt eine geringere Menge an Wasser aus. Um die Wassermenge zu erhöhen, kann man viele dünne Schläuche aneinanderfügen. Ähnlich ist das Platzproblem auch bei der Umfeldbeleuchtung lösbar. An die Stelle eines großen Objektivs tritt eine Anordnung aus vielen kleinen Objektiven: Statt eines optischen Kanals gibt es viele Kanäle, deren Anzahl den Lichtstrom bestimmt. Die Optik des Projektors im Schweller besteht aus einem quadratischen Array, das eine Fläche von etwa 10 mal 10 Millimetern hat. Darin sind 150 Mikrolinsen matrixförmig angeordnet. Die Dicke des Arrays, also seine Baulänge,

beträgt nur wenige Millimeter, was den Platzbedarf im Vergleich zu einem klassischen Projektor um einen Faktor zwölf reduziert.

Solche Mikrolinsen-Arrays entstehen mit Hilfe von UV-Abformung (Abb. 1). Flüssiges Polymerharz härtet dabei unter UV-Licht zwischen einem Substrat (z. B. Glas) und einem transparenten Abformwerkzeug aus. Das Dia mit der Struktur der Umfeldbeleuchtung lässt sich auf der Rückseite des Substrats als dünne Schicht aufbringen. Jede Mikrolinse besitzt die gleiche Brennweite und erzeugt ein vergrößertes Bild des Dias. Alle Bilder überlagern sich auf dem Boden, der bezogen auf die Brennweite des Arrays im Unendlichen liegt, und sorgen so für eine ausreichende Bildhelligkeit.

Da jede einzelne Mikrolinse des Arrays weniger als einen Millimeter groß ist, tritt das Licht der LED nur unter kleinen Winkeln in sie ein, sodass die optischen Abbildungsfehler des Systems gut beherrschbar sind. Allerdings entsteht Streulicht, wenn Lichtstrahlen nicht vollständig parallelisiert sind und ein optisches Übersprechen der Kanäle hervorrufen. Um das Streulicht zu verringern, wird

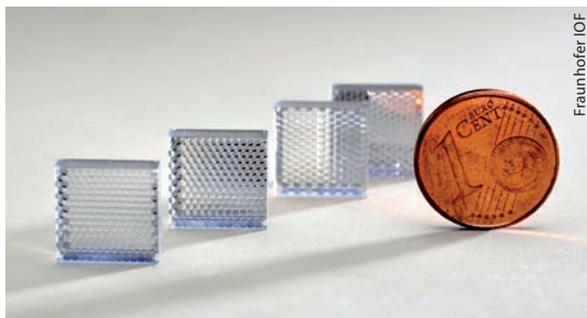


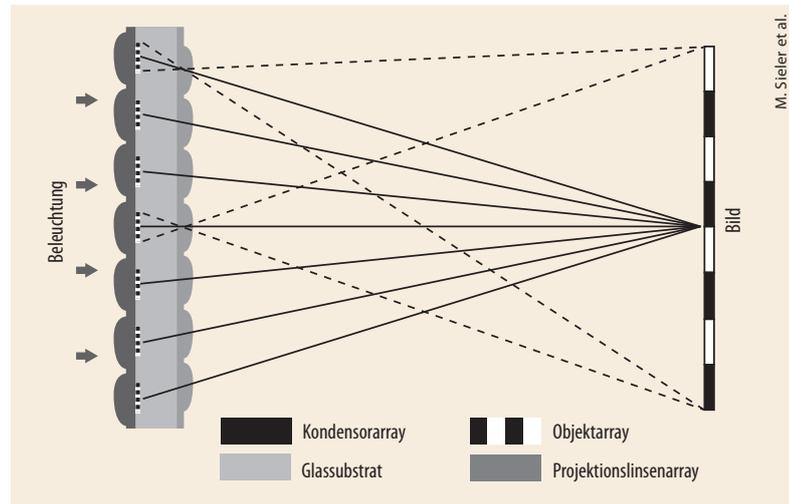
Abb. 1 Mikrolinsen-Arrays entstehen mittels UV-Abformungsverfahren mit Genauigkeiten von Mikrometern. Je mehr Mikrolinsen im Array enthalten sind, desto höher ist der Lichtstrom durch das System, ohne dass sich seine Baulänge verändert.

das Licht der LED kollimiert und beim Eintritt in die Projektionseinheit durch ein zweites, der LED zugewandtes Array aus Kondensormikrolinsen nochmals „feinjustiert“. Zudem dient eine Absorptionsstruktur, die in das Bauteil integriert ist, als Blende.

### Scharf projiziert

Die gewünschte Beleuchtung erfordert jedoch eine weitere Verfeinerung der Projektionseinheit (Abb. 2). Bei einem Abstand von weniger als 20 Zentimetern zwischen Schweller und Boden wäre der ausgeleuchtete Bereich extrem klein, wenn das Licht einfach senkrecht auf den Boden fallen würde. Daher ist die Projektionseinheit um einen Winkel von ungefähr  $80^\circ$  gegen den Boden geneigt: Die „Leinwand“ steht somit schräg zur Optik, wodurch die Schärfe des Bildes leidet. In einem Einkanalssystem bleiben zwei Möglichkeiten, die Schärfentiefe zu verbessern: Entweder blendet man das Objektiv ab und reduziert dadurch Lichtstrom und Bildhelligkeit. Oder man verwendet Freiformflächen, also nicht-symmetrische Flächen, für die Optik, das Dia oder beide und erhält ein sehr komplexes einkanaliges System.

Bei der mehrkanaligen Optik hängen dagegen Objektivdurchmesser, Baulänge und Lichtstrom nicht mehr voneinander ab. Im mehrkanaligen Projektionssystem



**Abb. 2** Die Projektionseinheiten bestehen aus mehreren Schichten. Das Licht einer LED fällt von links ein und trifft zunächst auf ein Kondensatorarray aus Mikrolinsen. Hier wird das Licht homogenisiert und parallelisiert, sodass sich die Streulichtanteile verringern. Dann

hat jede Mikrolinse des Arrays aufgrund ihrer geringen Öffnung eine große Schärfentiefe. Dank der großen Zahl an Mikrolinsen bleibt der Lichtstrom hoch. So genügt es, das Dia jeder Mikrolinse leicht zu verändern, um für die Umfeldbeleuchtung eine scharfe Abbildung auf dem Boden zu erzielen. Die einzelnen Bilder der äquidistant angeordneten, identischen Strukturen auf den Dias werden auf der schräg stehenden „Leinwand“ zur Deckung gebracht, indem die Dias abhängig von der lateralen Position der Mikrolinse im Array etwas

folgt das Dia mit der abzubildenden Struktur, das auf einem Substrat aus Glas angebracht ist. Auf der anderen Seite befindet sich das Objektarray. Die mehrkanalige Projektion erzeugt ein vergrößertes, scharfes und helles Bild des Dias in kurzer Entfernung zur Lichtquelle.

seitlich verschoben werden. Das Resultat ist die scharfe Abbildung strukturierter Lichtteppiche mit mehreren Quadratmetern Fläche von der Fahrtür bis zum Heck. So lassen sich Pfützen und Steine beim Ein- und Aussteigen immer rechtzeitig erkennen!

Michael Vogel

\*

Ich danke Andreas Bräuer vom Fraunhofer-Institut für Angewandte Optik und Feinmechanik, Jena, für hilfreiche Erläuterungen.