

# Konzentratoren für Hochleistungs-LEDs

Peter Schreiber, Sergey Kudaev, Ralf Steinkopf, Heike Schmidt



Peter Schreiber



Sergey Kudaev



Ralf Steinkopf



Heike Schmidt

Moderne LEDs sind vielversprechende Lichtquellen für viele Anwendungsfelder von der Raumbelichtung bis hin zu Lichtquellen mit hoher Leuchtdichte für Projektionsdisplays, Messzwecke und Mikroskopie. Der Aufbau von LED-Lichtquellen erfordert in den meisten Fällen eine chip-nahe erste Optik, die möglichst viel von dem abgestrahlten Licht in einen definierten Raumwinkelbereich konzentriert. Design und Realisierung verschiedener optischer Konzentratoren für diesen Einsatz werden im Weiteren beschrieben.

Der bekannte – nach dem Kantenstrahlenprinzip entworfene – parabolische Verbundkonzentrator (CPC) [1] zeigt gute Eigenschaften hinsichtlich der Effizienz für runde Quellen, aber unbefriedigende Homogenität der räumlichen und Winkelverteilung des abgestrahlten Lichtflusses. Um eine Optimierung von Effizienz und Homogenität auch für quadratische LED-Quellen zu ermöglichen, wurden auf Bezier-Splines basierende Designalgorithmen für reflektive (Abb. 1) und reflektiv/refraktive Konzentratoren (Abb. 2) für den kommerziellen Raytracer ZEMAX implementiert. Durch Nutzung der internen Optimierungsroutinen ist so ein Maßschneidern des Konzentrators für die jeweilige Applikation möglich.

Erste Labordemonstratoren für nach diesem Verfahren entworfene Konzentratoren wurden mittels Einkorn-Diamantdrehen auf einer Ultrapräzisionsmaschine precitec nanoform 350 hergestellt. Auf Totalreflexion basierte kompakte Konzentratoren wurden in PMMA, hohle Konzentratoren in Aluminium gedreht (Abb. 3). Kritisch bei der Herstellung waren Vibrationen der Elemente, die sich in erhöhter Rauig-

keit der bearbeiteten Oberflächen und vergrößerten Streulichtverlusten äußern. Typische erzielbare RMS Rauigkeitswerte betragen ca. 3...5 nm.

Die Charakterisierung der Muster mit modernen 1 mm<sup>2</sup> Dünnschicht-LEDs von OSRAM zeigte eine gute Übereinstimmung mit den Designrechnungen (Abb. 4–6). Mit einem kompakten Konzentrator von 14,9 mm Länge und einem Durchmesser der Austrittsapertur von 7,2 mm wurde eine Effizienz von 70 % in den Design-Abstrahlwinkelbereich von  $\pm 15^\circ$  gemessen. Die Abweichung vom Designwert 81 % ist hauptsächlich auf von Rauigkeiten herführendem Streulicht zurückzuführen.

Die Autoren danken Stefan Grötsch und Georg Bogner von OSRAM und Andreas Gebhardt vom Fraunhofer IOF. Die vorliegende Arbeit wird vom Bundesministerium für Bildung und Forschung unter dem Kennzeichen 13N8271 gefördert.

## Literatur:

[1] Winston, W. T.; Welford, R.: „The optics of non-imaging concentrators“, Academic Press, San Diego 1978.

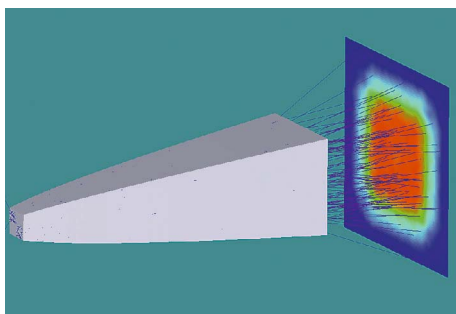


Abb. 1: Bezier-Konzentrator design mit quadratischem Querschnitt.

Fig. 1: Design of a Bezier-type concentrator with quadratic cross-section.

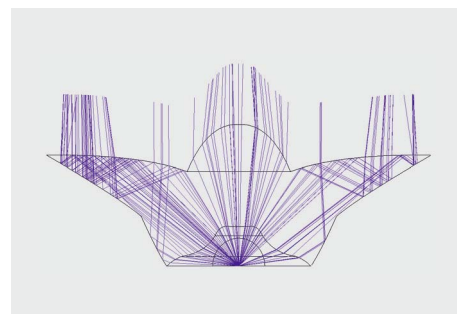


Abb. 2: Design eines reflektiv/refraktiven Konzentrators.

Fig. 2: Design of a reflective/refractive concentrator.

# Concentrators for high-power LEDs

Peter Schreiber, Sergey Kudaev, Ralf Steinkopf, Heike Schmidt

Current state-of-the-art LEDs are promising light sources for a broad range of applications from room lighting to high-brightness illumination i. e. for miniaturized projection displays, measurement applications and microscopy. The realization of LED illumination devices usually requires a primary optics, which directs as much of the emitted flux as possible into a specified solid angle. Design and realization of different optical concentrators and their application for this purpose are described in the following report.

The well-known compound parabolic concentrator (CPC) designed by the edge-ray principle /1/ exhibits good collection efficiencies for circular source and output apertures, but exhibits poor homogeneity of both spatial and angular output flux distribution. To enable optimal performance with respect to homogeneity and efficiency for circular and also rectangular LED sources, design algorithms for reflective concentrators (Fig. 1) and reflective/refractive elements (Fig. 2), which are based on surface representation by Bezier splines, were implemented into the commercial raytracer ZEMAX.

By using the raytracer's built-in optimization algorithms, the concentrator is tailored for the specific application. The first laboratory samples designed by this approach were manufactured by single-point diamond turning on a precitec nanoform 350 ultra-high precision cutting machine. Solid concentrators based in total internal reflection were cut into PMMA polymer and hollow metallic concentrators were turned into aluminum cylinders (Fig. 3). A critical issue during these manufacturing steps were vibrations of the concentrator, which resulted in excess roughness of the turned surfaces causing scattering losses. Typical RMS surface roughness is in the order of 3...5 nm.

The characterization of the samples using modern 1 mm<sup>2</sup> thin film LEDs from OSRAM demonstrated a close correlation with the design calculations (Fig. 4–6). With a solid concentrator of 14.9 mm length and output aperture diameter of 7.2 mm, an efficiency of 70 % within the design angular range of  $\pm 15^\circ$  was measured. The deviation from the design value of 81 % is mainly due to stray light caused by surface roughness.

The authors wish to thank Stefan Grötsch und Georg Bogner from OSRAM and Andreas Gebhardt from Fraunhofer IOF. This work is sponsored by the German ministry for education and research under contract 13N8271.

## References:

- /1/ Winston, W. T.; Welford, R.: „The optics of non-imaging concentrators“, Academic Press, San Diego 1978.

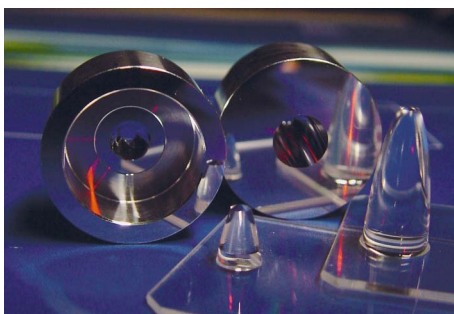


Abb. 3: Kompakte und hohle Konzentratoren, hergestellt durch Einkorn-Diamantdrehen.

Fig. 3: Solid and hollow concentrators manufactured by single-point diamond turning.

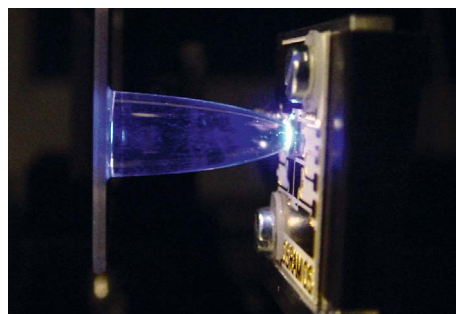


Abb. 4: Kompakter Konzentrator montiert auf eine blaue Hochleistungs-LED.

Fig. 4: Solid concentrator attached to a blue high-power LED.

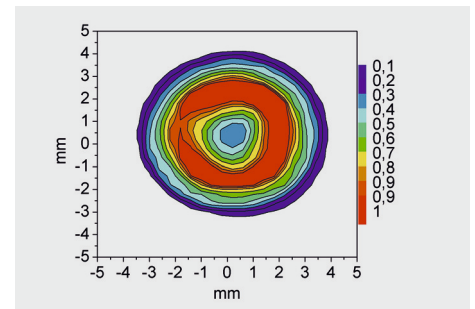


Abb. 5: Gemessene Bestrahlungsstärkeverteilung in der Ausgangsapertur eines kompakten Konzentrators.

Fig. 5: Measured spatial irradiance distribution in the output aperture of a solid concentrator.

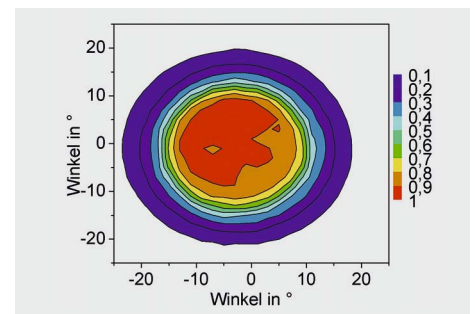


Abb. 6: Gemessene Intensitätsverteilung des kompakten Konzentrators.

Fig. 6: Measured angular intensity distribution of a solid concentrator.