

# Design und Realisierung einer kompakten Multi-Apertur-ToF-Weitwinkelkamera

Britta Holz\*, Alexander Oberdörster\*, Johanna Karl\*, Thomas Rätthe\*, Christin Gassner\*, Robert Brüning\*

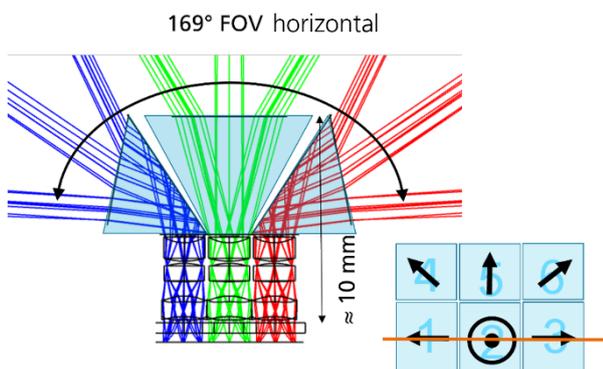
\*Fraunhofer Institut für Angewandte Optik und Feinmechanik IOF

[mailto: britta.holz@iof.fraunhofer.de](mailto:britta.holz@iof.fraunhofer.de)

Wir präsentieren eine kompakte Weitwinkelkamera mit einem Gesichtsfeld von  $127^\circ \times 169^\circ$ . Der Multiapertur-Ansatz in Kombination mit einem Array aus Umlenkprismen erlaubt eine geringe Bauhöhe der Optik von 10 mm. Dies ermöglicht den Einbau in der Deckenverkleidung von Fahrzeugen und damit den Einsatz als Innenraumkamera.

## 1 Einführung

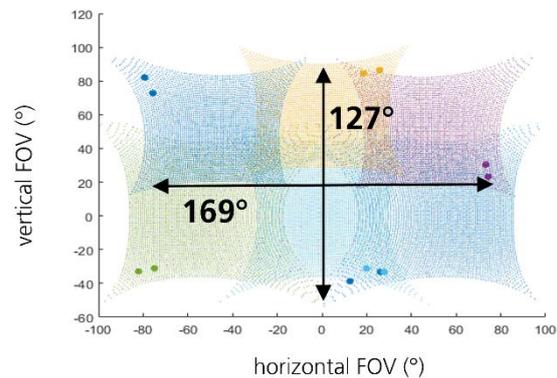
Die Überwachung des Fahrzeuginnenraums im Automobilbereich gewinnt durch das autonome Fahren, verschiedenen Sicherheitsaspekten und Komfortfunktionen wie Gestensteuerung an großer Bedeutung. Unterschiedliche Anwendungen wie die Überwachung der Fahrbereitschaft der Fahrenden, Hand-am-Lenkrad-Erkennung, Kindersitzerkennung zur Deaktivierung der Airbag-Funktion und Gestensteuerung werden aktuell durch mehrere, voneinander unabhängige Sensor- und Kamerasysteme abgedeckt. Wir präsentieren eine kompakte 3D-Ultra-Weitwinkelkamera, die diese und weitere Sicherheits- und Komfort-Funktionen in einem einzigen System erfüllt. Das hat den Vorteil, dass bei lückenloser Erfassung des dreidimensionalen Fahrzeuginnenraums Kameras und Sensoren eingespart werden können.



**Abb. 1** Schnittansicht des Optikdesigns. Unten rechts im Bild: Kanalaufteilung mit Blickrichtungen.

## Spezifikationen

Das entwickelte System hat ein großes Bildfeld von  $170^\circ \times 130^\circ$  ( $180^\circ$  Diagonale). Die Optik passt mit einer Höhe von 10 mm in die Innenraum-Verkleidung der Fahrzeugdecke. Sie hat eine Blendenzahl von 1.5 bei einer Brennweite von 2 mm. Mit Hilfe eines ToF-Sensors wird so die gesamte Fahrzeugkabine im Amplitudenbild und als 3D-Geometrie in VGA-Auflösung erfasst.

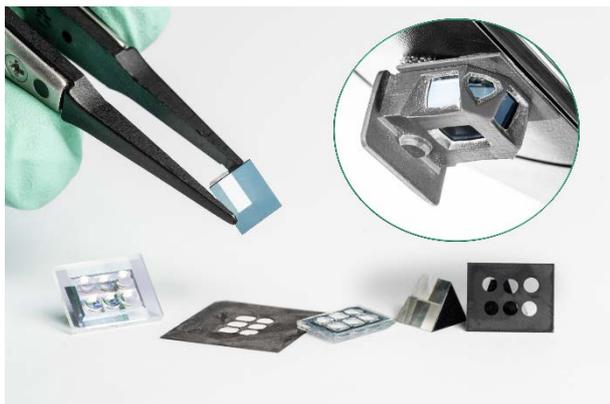


**Abb. 2** Gesichtsfeldaufteilung.

## 2 Umsetzung

Realisiert wird die Optik durch einen Multi-Apertur-Ansatz aus  $3 \times 2$  Einzelkanälen mit je  $90^\circ$  FOV (diagonal), die zusammen auf den Time-of-Flight-Sensor abbilden. Das große Gesichtsfeld wird erreicht, in dem die Blickrichtungen der einzelnen Kanäle durch Prismen in verschiedene Richtungen abgelenkt werden. Anschließend werden die Teilgesichtsfelder zum Panoramabild zusammengeführt. Abb. 1 zeigt den optischen Aufbau. Jeder Abbildungskanal benötigt lediglich drei Linsenschichten, womit die Anzahl der Linsen eines vergleichbaren Fisheye-Objektivs mindestens halbiert werden konnte. In der Designstudie zeigte sich zudem, dass reflektierende Umlenkprismen mit Blick auf Kompaktheit und Ablenkwinkel am besten geeignet sind, um die Blickrichtungen der Einzelkanäle abzulenken. Die Umsetzung des Designs mittels Linsenarrays erlaubt eine hohe Stückzahl hinsichtlich Fertigung und vereinfachter Montage. In dem vorgestellten Design sind zwei der Linsenarrays sphärisch und konnten mittels Blankpressen hergestellt werden. Ein weiteres Linsenarray ist asphärisch und wurde am Fraunhofer IOF in Kunststoff auf Glaswafer abgeformt. Der geringe Kunststoffanteil der Linsen begünstigt die thermische Stabilität. Durch FEM-unterstützte Thermalsimulationen konnte gezeigt werden, dass die optische Abbildung über den kompletten, für die Automobilanwendung

geforderten, Temperaturbereich von  $-40^{\circ}\text{C}$  bis  $105^{\circ}\text{C}$  stabil ist. Die Montage erfolgte im Reinraum. Im Ergebnis liegt die MTF im gesamten Gesichtsfeld des realen Demonstrators bei über 35% bei der halben Nyquist-Frequenz. Klimakammertests zeigten zudem, dass die MTF bei einem Temperaturverlauf von  $-10^{\circ}\text{C}$  bis  $70^{\circ}\text{C}$  auch am Bildrand der Einzelkanäle stets oberhalb von 23% lag. Durch Verwendung des Multiapertur-Ansatzes ist die Verzeichnung im gesamten Gesichtsfeld  $< 40\%$  und die relative Beleuchtung  $> 78\%$ , was einen deutlichen Vorteil gegenüber klassischen Weitwinkelobjektiven darstellt.



**Abb. 3** Aufnahme von Einzelelementen: Linsenarrays, Blendenarrays, Umlenkprismen, oben rechts im Bild: Außenansicht der Prismenbaugruppe.

Die Demonstratoren wurden durch Verzeichnungskorrektur und Ausrichtung der Teilbilder anhand von Markern kalibriert und liefern im Ergebnis gestitchte Live-Aufnahmen, wie in Abb. 4-6 gezeigt.

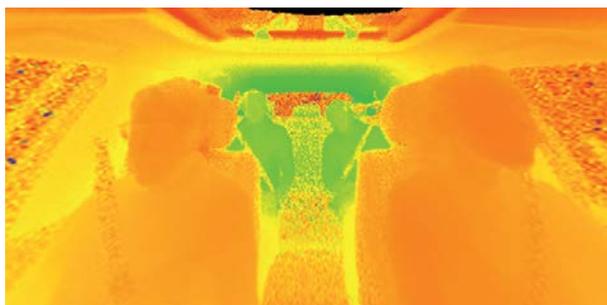


**Abb. 4** Rohbilder auf dem Sensor.

Mit Hilfe der gesammelten Erfahrungen war es möglich, in einem nachfolgenden Projekt eine Kamera mit dem gleichen Prinzip zu designen, deren Gesichtsfeld den gesamten Halbraum abdeckt [5].



**Abb. 5** Zusammengesetzte Bilder, links: Beifahrer, rechts: Fahrerin.



**Abb. 6** Tiefenkarte eines zusammengesetzten Panoramabildes.

### 3 Förderung

Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen 13N14913 gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei der Autorin / beim Autor. Die weiteren Projektpartner waren BMW AG, gestigon GmbH und Melexis GmbH.

### Literatur

- [1] C. De Locht., G. Koers, G. Bagnuoli, K. Lieben, A. Ott, A. Menath, T. Ewender, C. Gassner, R. Brüning, J. Awada, F. Coleca, N. Hermes, E. Küçükcaraca, J. Zillmann: „Miniaturisierte 3D Time-of-Flight-Kamera zur Innenraumüberwachung und Gestensteuerung im Automobil“, in: *Automobil-Sensorik 3*, S. 235-267 (2020)
- [2] A. Oberdörster, R. Brüning, C. Gassner, B. Satzer: „Anordnung zum Erzeugen einer optischen Abbildung sowie ein Kamerasystem“ DE102020210001A1, *Patentanmeldung* (2020)
- [3] A. Oberdörster, R. Brüning, C. Gassner, B. Satzer: „Kamerasystem zum Erzeugen einer lückenlosen optischen Abbildung“ DE102021202719A1, *Patentanmeldung* (2021)
- [4] R. Brüning et al., „Würfelzuckerkamera im Auto“ in: *Physik Journal 21*, Nr. 12 (2022)
- [5] A. Bartelmei, B. Satzer, R. Brüning: „Konzeption und Design einer Multiapertur  $2\pi$  Panoramakamera“, *124. Jahrestagung der DGaO* in Berlin (2023)