



## FREIFORMPRISMA FÜR HEAD-MOUNTED DISPLAY

## FREEFORM PRISM FOR HEAD-MOUNTED DISPLAY

Die visuelle Überlagerung der Wahrnehmung der realen Umwelt mit eingespiegelten Informationen, bezeichnet als »augmentierte Realität«, kann in einer Vielzahl von Anwendungsfeldern wie Fremdenverkehr, Sicherheitstechnik und zur Unterstützung für Service-Ingenieure genutzt werden.

Head-mounted Displays (HMD) mit Durchsichtfunktion sind Schlüsselkomponenten für den Einsatz augmentierter Realität. Wichtige Komponenten eines solchen HMD sind ein Mikrodisplay und die HMD-Optik. Aktive OLED-Displays sind attraktive Kandidaten für das Mikrodisplay auf Grund ihrer geringen Größe und Masse. Um diese Vorteile zu nutzen, benötigt man kleine und leichte Optiken mit geringer F-Zahl und großem Gesichtsfeld. Freiformprismen, die den optischen Pfad falten und mehrere optische Funktionsflächen in einem Element kombinieren, sind ein vielversprechender Lösungsansatz. Ein wesentliches Problem von HMDs mit OLEDs ist die geringe Systemtransmission auf Grund der Lambert-ähnlichen Abstrahlung des Mikrodisplays. Die Erhöhung der OLED-Luminanz ist deshalb ein wichtiger Punkt für die zukünftige Systementwicklung.

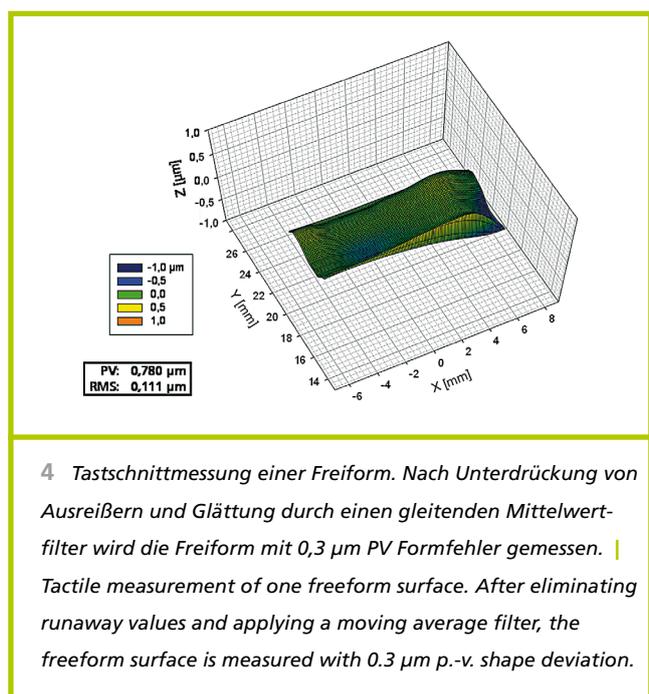
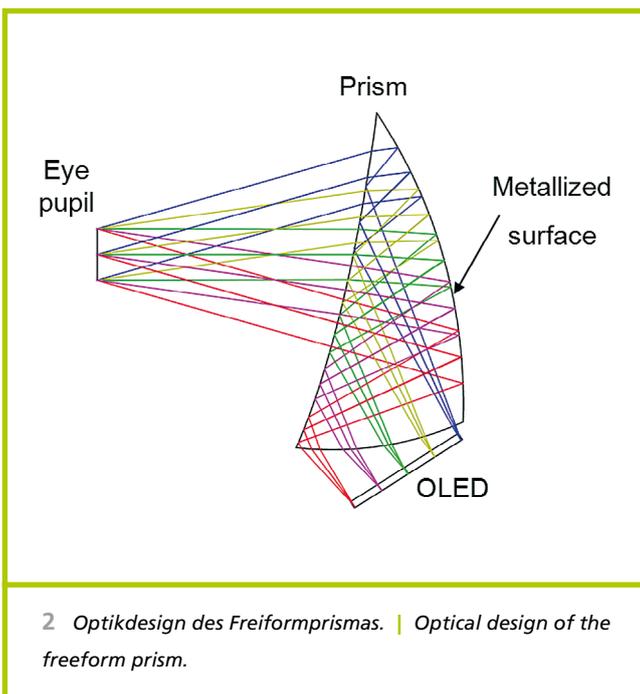
Visual superposition of the real-world environment and displayed information, known as augmented reality, can be used in a multitude of applications ranging from tourist guidance to surveillance applications and support for service engineers.

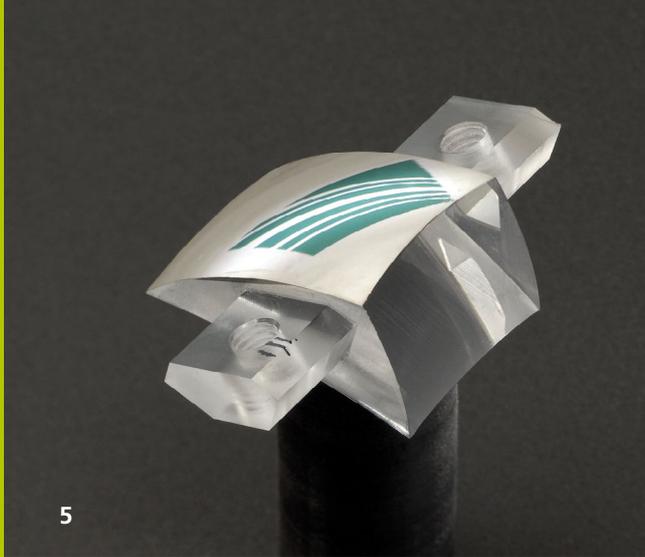
See-through head-mounted displays (HMD) are a key technology for utilization of augmented reality. Basic components which form such an HMD are the microdisplay and near-to-eye projection optics. Active OLED displays are attractive candidates for the microdisplay because of their small physical dimensions and low mass. To make these advantages effective, small and lightweight projection optics with a low f-number and large field-of-view are required. Thus freeform prisms, which fold the optical path and combine a number of surfaces with optical power in a single element, are a promising approach. A major problem of HMDs with OLED microdisplays is the low system throughput due to the Lambertian-like emission characteristics of the microdisplay. OLED luminance enhancement is therefore an important task for future system development.

1 Prototyp der Datensichtbrille auf einem Modellkopf. | Prototype of the head-mounted display on a dummy head.

Das optische Design eines solchen Freiformelements basiert auf Raytracing durch stark dezentrierte und verkippte Flächen, die als kartesische Polynome beschrieben werden (Abb. 2). Die Optimierung ist durch die große Zahl von Variablen, die die Oberflächen und die Koordinatentransformationen beschreiben und voneinander nicht unabhängig sind, erschwert. Wichtige optische Parameter sind ein großes Gesichtsfeld von  $32^\circ \times 24^\circ$ , RGB-VGA-Auflösung und ein Verzeichnung  $< 2\%$ . Nach der Optimierung wird das optische System zur Überführung zum Rapid-Prototyping in ein mechanisches Konstruktionsformat übersetzt. Der Herstellungsprozess des Prismas beginnt mit der Definition von Montagefeatures zur Justage des Teils in eine Klemmfassung. Nach der Justage werden das Teil und die Aufnahme während der Bearbeitung und der Vermessung nicht mehr getrennt.

The optical design of a freeform element is based on sequential raytracing through strongly decentered and tilted surfaces described as cartesian polynomials (Fig. 2). Optimization is complicated by a large number of variables describing freeform surface profiles and coordinate transformations which are not independent of one another. Important optical specifications are a large field of view of  $32^\circ \times 24^\circ$ , RGB VGA resolution, and distortion of about  $2\%$  – which can be furthermore reduced using pre-distorted images. After optimization, the optical layout is translated into a mechanical design description for transfer to rapid prototyping. The process of element realization starts with definition of leading edges for adjustment of the part in a clamping fixture. Once adjusted, part and fixture remain as one unit during manufacturing and measurement.



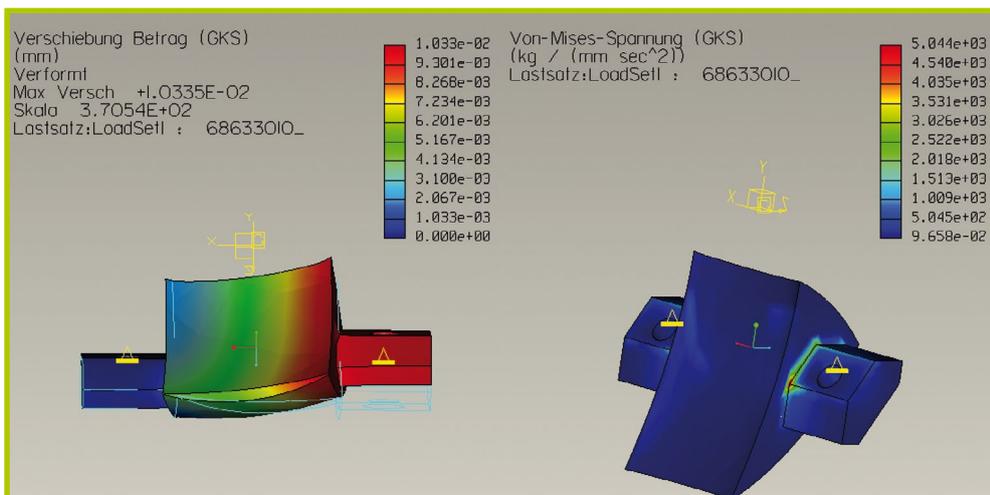


Referenzen für beide Prozesse können problemlos an der Aufnahme eingearbeitet werden. Geringe Toleranzen zwischen den Montageelementen und den optischen Flächen sind eine Vorbedingung für die erfolgreiche Bearbeitung. FEM-Simulationen der Schneidkräfte und der an der Befestigung auftretenden Spannungen sind die Voraussetzung für die Berechnung der Werkzeug-Trajektorie durch ein CAM-System (Abb. 3).

Die Prismen werden durch eine Kombination von direktem Diamantdrehen und -hobeln in PMMA auf einer Precitec FF700 Ultrapräzisions-Freiformmaschine hergestellt. Die geometrische Vermessung erfolgt auf einem 2½ D taktilem Messsystem UA3P von Panasonic (Abb. 4). Bei der Überführung des Prüflings von der Herstellung zur Vermessung geht die Referenzierung der Lage der Freiformen verloren.

References for both processes can be machined easily on the fixture itself. It is clear, that tight tolerances between leading edges and optical surfaces are the pre-condition for good systems. The correct tool path is calculated by CAM software (Fig. 3) using FEM simulations of cutting forces and clamping strains.

The prisms are realized using a combination of diamond turning and shaping into PMMA on a Precitec FF700 ultra-precision freeform machine. Geometrical characterization of the manufactured element is carried out with a 2½ D tactile measurement system UA3P von Panasonic (Fig. 4). Transferring the prototype to the measurement machine means losing the position of the freeform surfaces.



3 Die FEM-Simulation zeigt die Aufnahme einer Irregularität von 10 µm an einer Referenzfläche durch die Klemmung in einer »perfekten« Haltevorrichtung. | FEM simulation showing how an irregularity of 10 µm at one of the reference and clamping elements is absorbed from both elements during clamping in a "perfect" fixture.

Um die neuen Positionen zu erkennen, wurden drei Sphären nahe der optischen Flächen eingearbeitet, um so geringe Lagetoleranzen zwischen Funktionsfläche und Referenzmarke zu erzielen. Aus der Vermessung der Lage der Sphären kann die Position der Funktionsflächen berechnet werden.

Nach der Ultrapräzisionsbearbeitung werden die Elemente teilweise mit Aluminium metallisiert. Die Montage des Freiformprismas (Abb. 5) erfolgt in einem Metallrahmen, der dann an einer kommerziellen Sonnenbrille befestigt wird (Abb. 6). Im nächsten Entwicklungsschritt ersetzt eine teiltransparente Beschichtung das Aluminium. Das Einspiegelprisma wird weiter durch ein Kompensationsprisma ergänzt, welches dann die visuelle Überlagerung der realen Umwelt und des eingespiegelten Bildes erlaubt.

Design und Herstellung des Freiformprismas ist Teil des von der Fraunhofer-Gesellschaft geförderten Projekts »iSTAR«.

To identify the new positions, three spheres acting as reference marks were manufactured together with the measurement object ensuring tight tolerance between reference and optical surface. By knowing the positions of these spheres, it is easy to calculate the position of the freeform surface.

After ultra-precision manufacturing, the elements are partially coated by aluminum. The freeform prism (Fig. 5) is mounted in a metallic cage which is then applied to commercial sports sunglasses (Fig. 6). In the next development step, the aluminum coating is replaced by a semi-transparent layer and the setup is accomplished with a compensating prism, which enables visual superposition of near-to-eye projection and the real world environment.

Design and prototyping of the freeform prism is part of the "iSTAR" project funded by the Fraunhofer-Gesellschaft.

5 *Freiformprisma. | Freeform prism.*

6 *Freiformprisma, montiert an einer Sonnenbrille. | Freeform prism mounted on sunglasses.*

## AUTHORS

*Peter Schreiber*

*Kirill Sokolov †*

*Ralf Steinkopf*

*Marcel Sieler*

## CONTACT

*Dr. Peter Schreiber*

*Phone +49 3641 807-430*

*peter.schreiber@iof.fraunhofer.de*