

# Ultrapräzisionsbearbeitung – Technologie für innovative Optikelemente



Ralf Steinkopf



Andreas Gebhardt



Robert Jende



Johann P. Zänkert <sup>1</sup>

Kompakte Bauweise, hohe Abbildungsleistung und die Integration mehrerer Funktionen in einem Bauelement sind Anforderungen an innovative Optikelemente. Anwendungen aus dem Automotive-Bereich (Head up Display) oder der Laseroptik (Strahlformung) zeigen, dass die Serienfabrikation von Bauelementen mit asymmetrischer Geometrie oder von multifunktionalen Arrays Defizite in den verfügbaren Fertigungstechnologien aufweist.

Im Verbundprojekt »Flexible Prototypen- und reproduzierbare Serienfabrikation innovativer Optikelemente – FINO“ /1/ wurden neue Technologien entwickelt, um diese komplexen Anforderungen zu erfüllen. Es wurde die gesamte Prozesskette vom Design bis zur Fertigung grundlegend untersucht und exemplarisch an ausgewählten Beispielen erprobt. Schwerpunkt der Arbeiten am Fraunhofer IOF war die Ultrapräzisionsbearbeitung von Prototypen und Formenmaterialien für die Heißformgebung optischer Gläser. Zwei Technologieansätze wurden verfolgt:

1. Das optische Element wird direkt durch Diamantdrehen oder -fräsen (Fly-Cutting) erzeugt. Zu bearbeitende Materialien sind in der Regel PMMA oder Aluminium. Die realisierten optischen Elemente können unmittelbar zur Verifizierung und Optimierung des Systems genutzt werden.

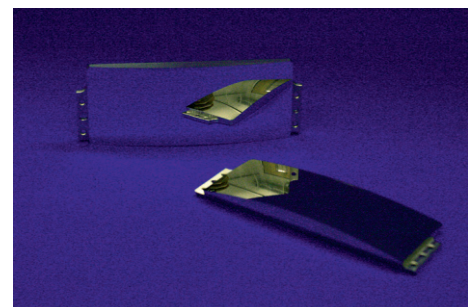
2. Das Element wird durch Urformen oder Umformen optischer Kunststoffe (Spritzguss/Heißprägen) erzeugt, wobei Soft-Werkzeuge in einfach zu bearbeitenden Materialien wie Messing oder Neusilber hergestellt werden. In diesem Fall stehen technologische Aspekte des Replikationsverfahrens im Vordergrund der Untersuchung. Durch ultrapräzise Fräsbearbeitung sind Optikelemente mit großen Abweichungen von Symmetrie und sphärischer Gestalt hergestellt worden.

Die Abbildungen 1 und 2 zeigen den Prototyp eines Freiformspiegels, sowie Werkzeugeinsätze zum Spritzgießen einer Off-Axis Asphäre. Neben der Realisierung von Korrekturzyklen zur Optimierung der Oberflächenform sind auch wirtschaftliche Verfahrensaspekte berücksichtigt worden. So konnte eine deutliche Reduzierung der Bearbeitungszeit beim Raster-Fly-Cutting durch die Optimierung der Verfahrensparameter und den Einsatz großer Werkzeugradialen erreicht werden.

Für die Serienfertigung von Optiken durch Blankpressen von Glas wurden Untersuchungen zur ultrapräzisen Bearbeitung von Warmarbeitsstählen durchgeführt. Basiswerkstoff für die dazu verwendeten Präzisionswerkzeuge ist das kubische Bornitrid (CBN). Neben Dreh- und Fräsprozessen wurde hierbei insbesondere das Fertigungsverfahren Hobeln untersucht. Mit diesem Verfahren können strukturierte Optikflächen erzeugt werden. Die Resultate zeigen, dass durch die Verwendung von Werkzeugen mit spezieller Schneidenpräparation Rauheitswerte  $< 30 \text{ nm rms}$  möglich sind. Die Ergebnisse der Untersuchungen wurden in einem multifunktionalen Array aus Werkzeugstahl zum Heißprägen optischer Gläser (Abb. 3) umgesetzt. Die Realisierung erfolgte mit einer 4-achsigen Ultrapräzisionsmaschine (Abb. 4).

Abb. 1:  
Freiform, gefräster Prototyp aus Aluminium.

Fig. 1:  
Freeform, milled prototype from Aluminium.



<sup>1</sup> LINOS Photonics GmbH & Co. KG

# Ultra precision machining – Technology for innovative optical elements

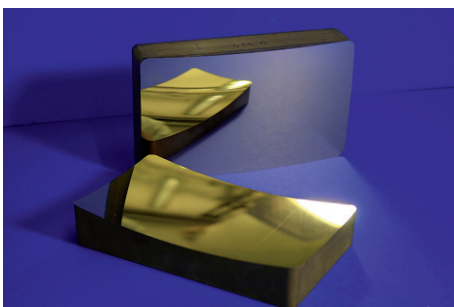
Compact designs, high imaging capacity and the integration of several functions in one element are typical requirements for innovative optics. Applications in the automotive industry (head-up displays) or telecommunications (fiber-coupling) show that series production of optical components with asymmetrical geometry reveals deficits in the available manufacturing technology.

To overcome these shortcomings and develop technologies for series production of innovative optical elements, the BMBF project “Flexible prototype manufacturing and reproducible series production of innovative optical elements” was developed /1/. The entire process chain from design to manufacturing was investigated and tested exemplarily with selected examples. The focus of work at the IOF was on Single Point Diamond Turning (SPDT) of optical materials for prototypes and form materials of selected mold technologies. For prototyping two technologies were pursued:

1. The prototype is produced by direct shaping using technologies such as turning or milling (Fig. 1). Typical prototype materials are PMMA or aluminium. The produced optical elements can be used directly for the verification and optimization of the system.

Abb. 2:  
Softwerkzeugeinsatz für das Prototyping.

Fig. 2:  
Soft tool for prototyping.



2. The prototype is produced by injection molding or hot embossing. The mold inserts are cut in materials such as brass or nickel silver (soft tools) which can be worked on well with SPDT. Here, technological aspects of the mold process form the focus of the investigation.

Figures 1 and 2 show a freeform mirror prototype as well as off-axis-aspheric inserts for injection molding. Correction cycles have been used to improve the contour accuracy. Alongside optical tolerances, economical aspects were also considered. In this way, a clear reduction of operating time could be achieved with raster Fly Cut by varying the process parameters and the use of large tool radii.

For serial production of glass-optics by means of hot embossing, ultra precision machining of steel was the focus of the investigation. Besides the turning and milling processes, planing as a manufacturing method was examined. Structured optics can be produced with such a technique. A suitable tool material is cubic boron nitride (CBN). In particular, use of tools with a special surface finish are possible here, and surface roughness values down to 30 nm rms have been achieved with such tools. The results of the investigations were applied in a multi-functional array from steel for hot embossing of optical glasses (Fig. 3). A 4-axis freeform machine (Fig. 4) was used for realization.

#### References:

- /1/ Zänkert, J. (Hrsg.): Report of the BMBF project: Flexible prototype manufacturing and reproducible series production of innovative optical elements – FINO, ISBN 39810759-4-3

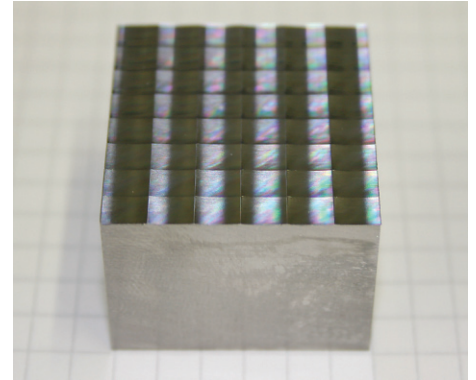


Abb. 3:  
Linsenarray aus Stahl zum Abformen von Glas.

Fig. 3:  
Lens array from steel for casting glass.

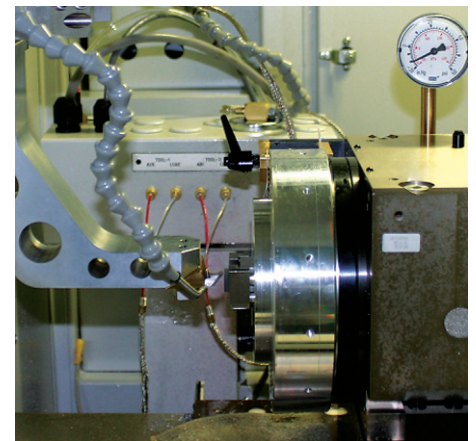


Abb. 4:  
Ultrapräzisionsbearbeitung (Hobeln) eines  
Werkzeugeinsatzes.

Fig. 4:  
Freeform machine (ruling) of steel mold.