

## ULTRAPRÄZISE ASPHÄRISCHE SPIEGEL MIT DEFINIERTEN REFERENZSTRUKTUREN

## ULTRA-PRECISE MIRROR ASSEMBLIES WITH WELL-DEFINED REFERENCE STRUCTURES

Moderne und leistungsfähige Spiegeloptiken für die Abbildung, Spektroskopie und Strahlformung basieren auf asphärischen Flächen. Diese neue Gestaltungsfreiheit des Optikdesigns ist jedoch mit Herausforderungen bei der Herstellung und der Montage von optischen Komponenten verbunden. Nur Spiegel, die ultrapräzise gefertigt, charakterisiert und mikrometergenau in den Strahlengang eingebaut sind, zeigen ihre Leistungsfähigkeit in der Anwendung. Referenz- und Anlagestructuren mit fester Lagebeziehung zur Spiegelfläche sind daher ebenso entscheidend, wie die hohe Qualität der optischen Fläche selbst.

Die sonst zeitaufwändige Montage von optischen Geräten, wie z. B. Spiegelteleskopen kann deutlich vereinfacht werden, indem ein Montagezustand mehrerer Spiegel bereits während der Bearbeitung hergestellt wird. Die Lage mehrerer Spiegelflächen wird fertigungstechnisch in höchster Präzision fixiert.

Aspherical surfaces for imaging, spectroscopy or beam shaping are a centerpiece of today's high-performance mirror optics. The growing design freedom is accompanied by new challenges regarding the manufacturing and assembly of optical components. Only mirrors that are manufactured ultra-precisely, characterized and assembled into the optical path with micrometer accuracy can tap their full potential in application. References and interfaces with a tight geometrical relation to the mirror are just as important as the high quality of the optical surface itself. The time consuming assembly of optical instruments like mirror telescopes can be considerably reduced by adjusting the position of more than one mirror surface during the manufacturing process. Hence the alignment of mirrors on a common substrate is fixed with the highest precision using this manufacturing approach.

1 Spiegelbaugruppe mit zwei exakt ausgerichteten asphärischen Spiegeln und zusätzlichen Referenzierungselementen.

1 Ultra-precise optic assembly with two aspherical mirrors and additional reference elements.

Viele Nichteisenmetalle können hervorragend mit einem Diamantwerkzeug drehend bearbeitet werden. Die geringe Formabweichung im Submikrometerbereich wird durch Korrekturzyklen erreicht, wobei der auftretende systematische Formfehler durch eine modifizierte Ansteuerung der Bearbeitungsmaschine auf ein Minimum reduziert wird. Ein neuartiger Fertigungsansatz, der neben der Gestalt zusätzlich die Referenzposition berücksichtigt, erlaubt nicht nur die Form sondern auch die Lage der Spiegelfläche zu Referenzmarken, Anlageflächen oder sogar einem weiteren Spiegel zu kontrollieren und exakt einzustellen.

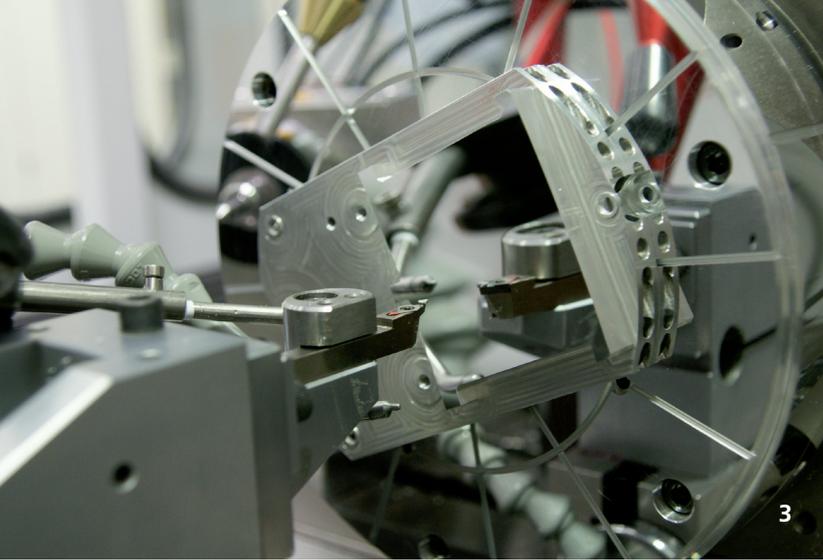
Grundlage ist die Bearbeitung des Spiegels, der Referenz- und Anlageflächen und weiterer Spiegel in nur einer Maschinenaufspannung (Abb. 3). Alle Funktionselemente werden in einem gemeinsamen Koordinatensystem gefertigt. Dieses steht durch die zusätzlichen Referenzmarken weiteren Prozessen z. B. Messprozessen zur Verfügung. Die Fehlererfassung der Form und Lage erfolgt nun mit festem Bezug zum optischen Koordinatensystem des Spiegels und ermöglicht so in einem weiteren Bearbeitungsschritt auf der Ultrapräzisions-Drehmaschine die zielgerichtete Korrektur der Form und der Lage aller Elemente mit Bezug auf die Referenzmarken.

Die Gestaltungsvielfalt für die Form und Position der Elemente wird durch den Einsatz einer zusätzlichen Frässpindel mit einem Diamantschaftfräser auf der Drehmaschine enorm gesteigert. Durch den Betrieb der Maschine mit inkrementeller Ansteuerung der Drehachse, analog zu einer polaren Achse, können zusätzliche Funktionselemente wie z. B. Kalotten und Planflächen in beliebigen Bereichen des Spiegelsubstrats gefertigt werden. Diese dienen später als Messmarken und Anlageflächen bei der Montage.

The diamond tool offers outstanding properties for the ultra-precise cutting of a variety of non-ferrous metals. The reduction of the form deviation to the sub-micrometer level over the optical surface is achieved by correcting the measured systematic errors with a modified tool path during the cutting process. A newly developed manufacturing approach, which accounts for the shape and also for the position of functional elements, allows for the control and precise correction of not only the form but also the alignment of reference marks, assembly surfaces or even other mirror faces in the sub-assembly. The approach is based on the manufacturing of the mirror surface, references, interfaces and other optical mirrors in just one machine setup (Fig. 3).

All mentioned elements are machined in a conjoint coordinate system, which is available to additional linked processes, such as measurement, using the in-process reference marks. The acquisition of form and position errors is now based on a fixed relation to the optical coordinate system of the mirror surface. Hence the targeted correction of form and position of all elements relative to the reference marks can be achieved in an additional manufacturing step on the ultra-precision machine.

The freedom of design for the form and position of references and contact surfaces is enormously enlarged by the integration of an additional milling spindle with a diamond ball end mill on an ultra-precision lathe. The operation of the turning spindle in an incremental mode, analog to a polar machine axis, allows the cutting of functional elements like e.g. spherical calottes or plan surfaces with optical quality on arbitrary positions on the substrate. These elements are useful for referencing or as interfaces for the assembly.



Bei symmetrischen Designs, wie z. B. Korsch-Teleskop oder dem Three-Mirror-Anastigmat (TMA) Teleskop /1/, kann durch die Bearbeitung von zwei Spiegeln auf einer Tragstruktur der Einbauzustand in sehr hoher Qualität fertigungstechnisch hergestellt werden. Nach der Bearbeitung des ersten Spiegels wird der Träger der zweiten optischen Fläche auf der Maschine reproduzierbar in das Modul integriert und bearbeitet. Zusätzliche Referenzmarken erlauben die Korrektur der Form und der Lage der Spiegel zueinander und zu Anschlagflächen, die für den Einbau des Moduls vorgesehen sind.

Das Spiegelmodul in Abb. 1 umfasst den Sekundär- und Tertiärspiegel eines Korsch-Teleskops. Die Formabweichung von M2 ist 280 nm; M3 weicht 350 nm von der idealen Asphäre ab. Die Scheitelpunkte beider Spiegel liegen nur 200 nm voneinander und 500 nm von der Ebene durch die im Prozess gefertigten Anlageflächen entfernt. Die Verkippung der Spiegel gegen die Einbauebene, die durch die kinematisch entkoppelten Anlageflächen gegeben ist, beträgt weniger als 5'' (Abb. 2). Damit erschließt das Verfahren eine neue Fertigungsstrategie mit dem Potential einer Verbesserung der Lagebeziehung von Mehrspiegelanordnungen um eine Größenordnung.

#### Danksagung

Die grundlegenden Untersuchungen werden vom Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt DLR im Rahmen des Projekts IRS-TEL, FK: 50EE0804 gefördert.

Taking advantage of the rotational symmetry of system designs like the Korsch-Telescope or Three-Mirror-Anastigmat (TMA) Telescope /1/, it is also possible to diamond turn whole mirror assemblies containing two or more mirrors with different aspheric shapes on a common breadboard (platform) with a relative position of both surfaces with the highest machine precision. After machining the first surface, the blank for the second mirror is mounted reproducibly onto the breadboard in the turning setup and is diamond turned. Additional reference marks allow the correction of the shape of each mirror, their relative position and the position of interfaces for the system integration.

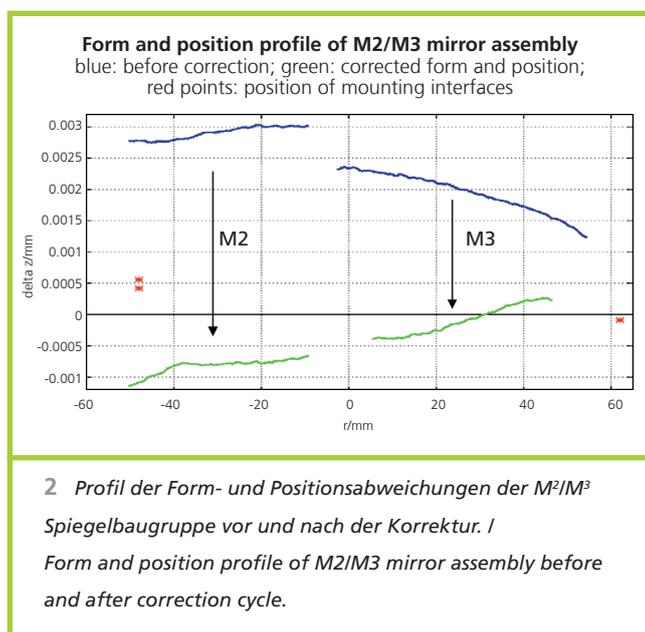
The completed mirror module as shown in Fig. 1 contains a secondary and tertiary mirror of a Korsch-Telescope. The form error of M2 is 280 nm (p-v); M3 deviates 350 nm (p-v) from the ideal aspheric shape. The vertex positions of both mirrors are aligned within a distance of only 200 nm. Both mirrors are positioned within 500 nm to the plane through the in-process manufactured mounting interfaces for the system assembly. The tilt of the mirrors vs. the mounting plane is less than 5 arcsec (Fig. 2). The shown method opens up a novel manufacturing strategy with the potential to enhance the relative positioning accuracy of mirrors in an assembly by an order of magnitude.

#### Acknowledgment

The fundamental investigations were funded by the German Aerospace Center DLR within the project IRS-TEL, FK: 50EE0804.

## Literatur/References

/1/ Risse, S.; et al.: Novel TMA telescope based on ultra precise metal mirrors, Proc. SPIE 7010, Marseilles (2008).



## AUTHORS

Sebastian Scheiding

Andreas Gebhardt

Christoph Damm

Thomas Peschel

Stefan Risse

## CONTACT

Sebastian Scheiding

Phone +49 3641 807-353

sebastian.scheiding@iof.fraunhofer.de

Dr. Stefan Risse

Phone +49 3641 807-313

stefan.risse@iof.fraunhofer.de