



ULTRAPRÄZISE METALLSPIEGEL FÜR EIN NEUARTIGES ROTIERENDES TELESKOP

ULTRA-PRECISE METAL MIRRORS FOR A NOVEL ROTARY TELESCOPE

Moderne weltraumtaugliche Teleskope für die Planeten-erkundung und Erdbeobachtung benötigen komplexe optische Spiegel. Dabei bilden meist Sphären und Asphären ein Teleskop. Aktuell werden im Optikdesign bereits Freiformelemente (optische Flächen ohne Symmetrie) eingesetzt. Die Kombination ultrapräziser Diamantbearbeitung mit genauen Polierverfahren erweitert die Anwendung von Spiegeloptiken für den Spektralbereich von IR bis UV.

METImage ist das Konzept eines neuartigen abbildenden Multispektral-Radiometers für die meteorologische Anwendung, das in einem Nachfolge-Satellitensystem zum derzeitigen EUMETSAT Polar System (EPS) zum Einsatz kommen soll. Das Kernstück des METImage-Konzepts ist ein technologisch neuartiges rotierendes Teleskop, welches von Wissenschaftlern des Unternehmens JENOPTIK entworfen wurde (Abb. 2). Das Instrument registriert das von Erdoberfläche, Atmosphäre und Wolken reflektierte, beziehungsweise gestreute Sonnenlicht in mehreren spektralen Kanälen vom sichtbaren bis zum thermischen Infrarot-Spektralbereich /1/.

Modern space telescopes for the investigation of planets and earth observation need mirrors with complex optical shapes. State of the art telescopes tend to use spheres as well as aspheres. Sophisticated designs are increasingly using freeform elements (optical surfaces without symmetry). In this context, the combination of ultra-precise diamond turning and exact polishing procedures extends the use of reflecting optics for the spectral range from IR to UV.

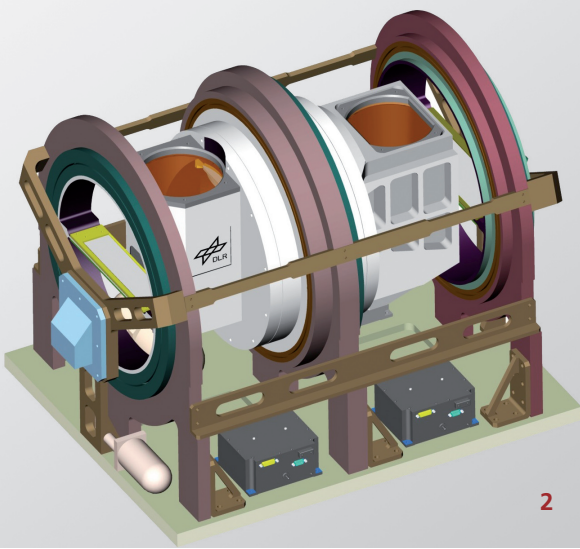
METImage is a novel telescope concept of a multi-spectral radiometer with a large swath width and a ground sampling distance of < 1km. This telescope is intended for meteorological application which will be used in a succession-satellite system to the present EUMETSAT Polar system (EP). The main idea of the METImage concept is a novel rotary telescope designed by scientists at JENOPTIK (Fig. 2). The instrument registers the light which is reflected by the earth's surface, the atmosphere, clouds or scattered sunlight in several spectral canals from visible up to the thermal infrared spectral range /1/.

1 *Freiformspiegel.*

2 *Das METImage Instrument /1/. ©Jena-Optronik GmbH.*

1 *Freeform mirror.*

2 *Model of METImage Instrument /1/. ©Jena-Optronik GmbH.*



Für neuste Teleskope wird der Designansatz eines athermalen, mechanisch stabilen und zugleich massereduzierten Aufbaus der Spiegel und der Teleskopstruktur verfolgt.

Unter Beachtung der Anforderungen an die Spiegel wie hohe Formgenauigkeit, geringe Rauheit und Ausschluss von periodischen Störungen, wurde die Kombination einer Aluminiumlegierung mit einer polierbaren Dickschicht aus Nickel-Phosphor (NiP) untersucht. Die Nickelschicht bildet unter dem Zusatz von 10 bis 12 % Phosphor ein amorphes Gefüge aus. Die NiP-Legierung wird chemisch abgeschieden und ermöglicht zugleich die ultrapräzise Diamantbearbeitung, das chemisch-mechanische Polieren und die ionengestützte Formkorrektur /2/.

Durch den Einsatz einer thermisch an NiP angepassten Aluminiumlegierung AlSi42 treten keine bzw. vernachlässigbar kleine thermische Effekte auf /3/. AlSi42 ist eine Aluminium-Silizium-Legierung mit einem Anteil Silizium von 42 % und einem thermischen Ausdehnungskoeffizienten von $\sim 13 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$. Dieser hohe Siliziumanteil führt zu einer signifikanten Erhöhung des Elastizitätsmoduls und zu einer Reduzierung der Masse im Vergleich zu Al6061 (allgemein als Flugaluminium bekannt). Eine Simulation des thermisch induzierten Bimetalleffekts ist für einen Spiegel des METimage Teleskops in Abb. 3 dargestellt.

Am Fraunhofer IOF wurden für verschiedenste Teleskope plane, sphärische und asphärische Spiegel mittels Diamantbearbeitung und Poliertechnik gefertigt (Abb. 4) /2/. In Zusammenarbeit mit der Carl Zeiss Jena GmbH wurden Asphären und Freiformspiegel für den visuellen Spektralbereich hergestellt (Abb. 1). In Abhängigkeit von der Anwendung erfolgt die Vergütung der Spiegel mit speziellen, patentierten Schichtsystemen für eine optimale Reflexion im gewünschten Spektralbereich.

It fulfils user requirements for measurements of physical parameters in the atmosphere, of the sea surface and of the land surface to assess meteorologically relevant states.

The design of next generation telescopes is based on an athermal, mechanically stable and light-weight construction of the mirrors as well as the whole telescope structure. This will be realized by the use of an identical material for both the mechanical structure and the optic. Considering the mirror requirements like high quality surface flatness, low roughness and no periodical structures, a combination of an aluminum-silicon alloy (AlSi42) with a polishable metal layer (electroless nickel-phosphorus) will be used. Besides ultra-precise manufacturing techniques like single point diamond turning (Fig. 4), the amorphous nickel phosphorus alloy permits post-polishing processes like chemical-mechanical polishing or ion beam polishing /2/.

The novel, patented material combination matches the CTE of electroless nickel by using an aluminium alloy with a high silicon content (mass 42 %) as mirror substrate /3/. Besides the harmonization of the CTE ($\sim 13 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$), considerable advantages arise in terms of the specific stiffness. The E-Module of AlSi42 is significantly higher and the mass is lower in relation to the typical space material Al6061. Figure 3 shows a simulation of the bi-metal effect of an athermal mirror.

Flat, spherical and aspherical mirrors for a great variety of telescopes were developed at Fraunhofer IOF (Fig. 4) /2/. For instance, aspherical and freeform mirrors for the visual wavelength were realized in cooperation with Carl Zeiss Jena GmbH (Fig. 1). Depending on the application, the optical surface will be covered with a special layer sequence for optimal reflectance in the desired spectral range.



Die Spiegeloptik für ein rotierendes Teleskop wird gegenwärtig in Zusammenarbeit mit der JENOPTIK und im Auftrag der DLR entwickelt. Die Basis ist ein Three-Mirror-Anastigmat (TMA) Teleskop.

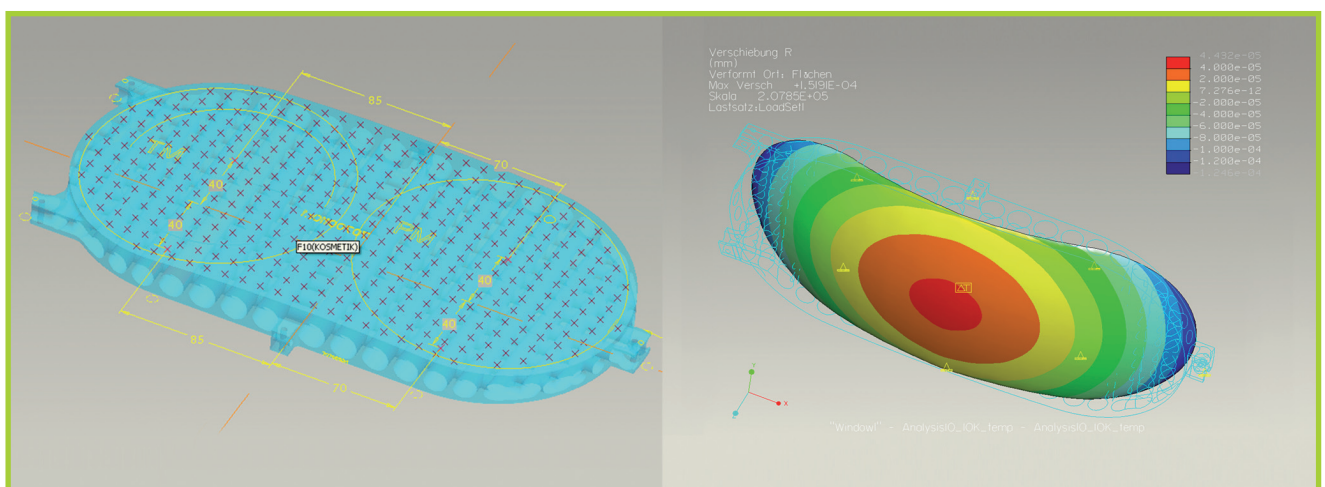
Die Arbeiten zum rotierenden Teleskop werden durch die DLR unter dem Kennzeichen 50 EE 0926 gefördert.

The reflective optics for the novel rotary telescope is based on a Three-Mirror-Anastigmat (TMA) Telescope. It is under development in cooperation with JENOPTIK.

This work is supported by the German Aerospace Center DLR and listed under number 50 EE 0926.

4 *Diamantdrehen eines Teleskopspiegels.*

4 *Single point diamond turning of an aspherical mirror.*



3 *Leichtgewichtdesign und FEM-Simulation des Bimetalleffekts eines athermalen Spiegels. / Lightweight mirror design and FEM-Simulation of bi-metallic effect of an athermal mirror.*

Literatur/References

/1/ http://www.dlr.de/rd/desktopdefault.aspx/tabid-2440/3586_read-10140/.

/2/ Steinkopf, R. et al; Metal Mirrors with Excellent Figure and Roughness. SPIE Proceedings Vol. 7102 (2008) p.71020C-71020C-12, ISBN 978-0-819-47332-5.

/3/ Rohloff, Gebhardt, A.; Damm, Ch.; Peschel, T.: Patent DE 10 2005 026 418. Spiegelträger für einen optischen Spiegel.

AUTHORS

Stefan Risse

Andreas Gebhardt

Christoph Damm

Robert Jende

Ralf Steinkopf

Sandra Müller

Alexander Pillukat¹

Matthias Merschdorf¹

¹*Jena-Optronik GmbH*

CONTACT

Dr.-Ing. Stefan Risse

Phone +49 3641 807-313

stefan.risse@iof.fraunhofer.de

Dr. Ramona Eberhardt

Phone +49 3641 807-312

ramona.eberhardt@iof.fraunhofer.de