



Only with the DKIST will it be possible to collect precise polarimetric data with the temporal cadence necessary to capture the evolution of the fine structure of sunspots (see photo) and finally understand its physical origin.

Mit dem DKIST wird es gelingen, präzise polarimetrische Daten im erforderlichen Zeitabstand zu erheben, um die Evolution der Sonnenfleckenfeinstruktur (Foto) zu erfassen und den physikalischen Ursprung zu verstehen.

Source: Quelle: NASA/JPL/ASU/NSF/7. Rimmelde

# Sights Set on the Sun

## Die Sonne im Visier

SCHOTT manufactured a mirror substrate from the high-tech material ZERODUR® glass-ceramic for the world's largest solar telescope DKIST (Daniel K. Inouye Solar Telescope). The "hot gaze" at our central star poses special challenges.

Für das weltweit größte Sonnenteleskop DKIST (Daniel K. Inouye Solar Telescope) fertigte SCHOTT einen Spiegelträger aus dem Hightech-Material ZERODUR® Glaskeramik. Der „heiße Blick“ auf unser Zentralgestirn bedeutet eine ganz besondere Herausforderung.

BERNHARD GERL

All life on earth owes its existence to the sun. But besides providing us with light and heat, the sun occasionally also ejects heavy particle showers toward Earth together with the solar winds that threaten our sensitive electronics, satellites, and even our power grids. That's why scientists are trying to better understand the complex processes on its surface. To this end, the \$300 million Daniel K. Inouye Solar Telescope (DKIST, formerly known as ATST) will be put into operation in 2019 on the 3,000-meter high

Alles Leben auf der Welt verdankt seine Existenz der Sonne. Doch neben Licht und Wärme schleudert sie mit dem Sonnenwind bisweilen heftige Teilchenschauer in Richtung Erde, die unsere empfindliche Elektronik, unsere Satelliten, ja sogar unsere Stromnetze bedrohen. Wissenschaftler wollen deshalb die komplexen Prozesse auf ihrer Oberfläche besser verstehen. Dafür wird 2019 das rund 300 Millionen Dollar teure Sonnenteleskop Daniel K. Inouye Solar Telescope (DKIST, bisher bekannt als ATST)



Photo: © Brent Simson/NSO/AURA/NSF

mountain Haleakalā on the Hawaiian island of Maui. The National Solar Observatory is responsible for the research that the U.S. umbrella organization AURA (Association of Universities for Research in Astronomy, Inc.) is conducting and is supported by 22 research institutes from many different countries.

### Solar telescope of superlatives

Its 4.26-meter monolithic mirror made of ZERODUR® glass-ceramic will make the telescope the largest of its kind. The huge mirror diameter will allow for structures 15,5 miles in size to be observed on the sun which is nearly 93 million miles away. That can be compared to viewing a pea located 18.6 miles away. The resolution is thus a factor of 2.6 higher than what was achieved with the largest solar telescope at Big Bear Solar Observatory near Los Angeles (See solutions 2/2007, pp. 31ff). The researchers are particularly interested in the processes on the sun which result in flares and

auf dem 3.000 Meter hohen Berg Haleakalā auf der Hawaii-Insel Maui in Betrieb gehen. Für die Forschungen verantwortlich ist das National Solar Observatory, das von der US-Dachorganisation AURA (Association of Universities for Research in Astronomy Inc.) betrieben und von 22 Forschungsinstitutionen aus mehreren Ländern unterstützt wird.

### Sonnenteleskop der Superlative

Mit einem monolithischen 4,26-Meter-Spiegel aus ZERODUR® Glaskeramik wird das Teleskop das größte seiner Art sein. Der riesige Spiegeldurchmesser wird es erlauben, 25 Kilometer große Strukturen auf dem fast 150 Millionen Kilometer entfernten Zentralgestirn zu beobachten. Das ist, als würde man eine Erbse aus 30 Kilometern erkennen. Das Auflösungsvermögen wird damit um den Faktor 2,6 höher sein als beim bisher größten Sonnenteleskop, dem Big Bear Solar Observatory in der Nähe von Los Angeles



The DKIST – here as a rendering – features a large mirror opening that allows for better spatial resolution and observance of narrow spectral regions, particularly in the infrared range.

Das DKIST – hier als Schnittzeichnung – verfügt über eine große Spiegelöffnung, die eine bessere zeitliche Auflösung sowie die Beobachtung enger Spektralbereiche – vor allem auch im Infrarot – erlaubt.

The world's largest solar telescope is scheduled to be put into operation in 2019 on the 3,000-meter high mountain Haleakalā on the Hawaiian island of Maui.

Das weltgrößte Solarteleskop soll in 2019 auf dem 3.000 Meter hohen Berg Haleakalā auf der Hawaii-Insel Maui in Betrieb gehen.

coronal mass ejection. In addition they want to develop capabilities for space weather predictions. They hope these processes will provide them with insights that can also be of use in fusion reactions here on Earth. The large mirror aperture also allows for better temporal resolution and observation of narrow spectral regions, especially in the infrared range of the solar spectrum, which has hardly been researched to date.

In contrast to night-telescopes that greedily collect every photon, solar telescopes struggle with the opposite. It gets pretty hot when you look into the sun. To ensure that the imaging characteristics of the center mirror do not change, it is made of ZERODUR® glass-ceramic from SCHOTT, which has extremely low thermal expansion. “The success of this material thus continues, because with the Swedish Solar Telescope (mirror diameter 1 m) on La Palma, the New Solar Telescope on Big Bear Lake in California (1.6 m), the “Sunrise” that is carried by a balloon (1.1 m), and the German GREGOR Telescope on Tenerife (1.5 m), all of the world's

(s. solutions 2/2007; S. 31ff). Interessant für die Wissenschaftler sind dabei vor allem die Prozesse der Sonne, die Gas- und koronale Massenausbrüche verursachen. Zusätzlich sollen Fähigkeiten zur Vorhersage des Sonnenwindes entwickelt werden. Man erhofft sich Erkenntnisse, die auch für Fusionsreaktionen auf der Erde nützlich sein können. Die große Spiegelöffnung erlaubt zudem eine bessere zeitliche Auflösung und die Beobachtung enger Spektralbereiche, vor allem im bisher noch kaum erforschten infraroten Teil des Sonnenspektrums. Im Gegensatz zu Nachtteleskopen, die gierig jedes Photon einsammeln, haben Sonnentelkope mit dem Gegenteil zu kämpfen: Beim Blick in die Sonne wird es ziemlich heiß. Damit sich die Abbildungseigenschaften des Zentralspiegels nicht ändern, besteht er aus ZERODUR® Glaskeramik von SCHOTT mit extrem niedriger thermischer Ausdehnung. „Damit setzt sich der Siegeszug dieses Materials fort, denn mit dem Swedish Solar Telescope (Spiegeldurchmesser 1 m) auf La Palma, dem New Solar Telescope am kalifornischen Big Bear Lake (1,6 m), dem von einem Ballon

largest and most modern solar observatories are currently equipped with mirror substrates made of ZERODUR® glass-ceramic,” explains Dr. Thomas Westerhoff, Senior Manager Strategic Marketing for the ZERODUR® product group.

The scientists sought to achieve an expansion coefficient in the range of  $\pm 30 \cdot 10^{-7}$  per Kelvin, however SCHOTT actually even achieved a level of  $+6 \cdot 10^{-7}$  per Kelvin with a deviation of only  $3 \cdot 10^{-7}$  per Kelvin for the entire material. A piece of ZERODUR® glass-ceramic 100 miles in length would only expand by 0.4 inch if the temperature increased by 100 Kelvin.

The mirrors used in solar telescopes must meet extremely high mechanical demands because they gaze directly at the rising sun and therefore must be vertical. The DKIST mirror is only 2.9 inches thick so that it is easy to cool from behind, yet bears nearly three tons of weight without changing its shape. It is supported by 120 actuators on its back, which compensate for the deflection that inevitably occurs.

The properties of ZERODUR® glass-ceramic are only one aspect; in addition the specifications the scientists had established for the mirror material posed a major challenge. “Since the 8-meter project that required manufacturing four primary mirrors that were each 8.2 meters in diameter, the largest monolithic mirror substrates ever cast, no other job has challenged us and helped us to achieve advances in terms of technology as much as this project. We will be able to use the technologies we developed to meet many more customer requests,” Project Head at SCHOTT Thomas Werner explains. The glass-ceramic needs to be extremely homogeneous; for example, because bubbles and inclusions would result in scattered light that reduces the contrast. SCHOTT has succeeded in manufacturing a mirror substrate in which the maximum number of bubbles per unit volume was one order of magnitude lower and the bubble size permitted in the critical layer was undercut by a factor of 2.5.

The special design of the telescope also had consequences for the mirror. Since no other secondary mirrors that cast shadows were to be located within the optical path in the telescope, the mirror had to be ground in the form of an off-axis asphere, which means that the surface in the middle has a different radius of curvature than along the outer edges and that this “center” is also not located in the geometric center of the mirror. As a consequence of this grinding, however, the focal point does not lie above the mirror, but rather light is reflected to the side instead. Achieving this unusual shape also required a great deal of effort. Nevertheless, it was worth it, considering how satisfied the customer is. As DKIST Project Manager Joseph McMullin expresses, “Manufacturing a mirror substrate with the necessary specifications clearly turned out to be a huge technological challenge. Here, SCHOTT proved to be the perfect partner for our project. They really did a great job.”

And so it was that the mirror left Mainz for Bremerhaven as a heavy load shipment on its roughly six-week journey at the end of January. From there, it was put on a ship to cross the Atlantic and head for the Panama Canal and from there to Los Angeles.

getragenen „Sunrise“ (1,1 m) und dem deutschen GREGOR-Teleskop auf Teneriffa (1,5 m) sind die modernsten und größten Sonnenobservatorien der Welt derzeit alle mit Spiegelträgern aus ZERODUR® Glaskeramik ausgestattet“, erläutert Dr. Thomas Westerhoff, Senior Manager Strategic Marketing der Produktgruppe ZERODUR®.

Gewünscht wurde von den Wissenschaftlern ein Ausdehnungskoeffizient im Bereich von  $\pm 30 \cdot 10^{-7}$  pro Kelvin, tatsächlich



Photos Fotos : SCHOTT / C. Costard



Manufacturing the mirror substrate posed a major challenge for the engineers at SCHOTT with respect to both the extreme demands placed on the melting (see picture above) and processing it into an off-axis asphere.

Die Produktion des Spiegelsubstrats bedeutete für die Ingenieure bei SCHOTT eine besondere Herausforderung, sowohl hinsichtlich der extremen Anforderungen an den Guss (s. Bild oben) als auch der Bearbeitung zu einer Off-Axis-Asphäre.

In order to survive the often rough waves while crossing the Atlantic and the drive to Tucson, Arizona, it was stored on a special shock-absorbing system. According to the current plan, once it has been polished and successfully installed, the mirror will begin reflecting its first light to the instruments in 2019 so that the sun can be observed more closely.

< [david.schimmel@us.schott.com](mailto:david.schimmel@us.schott.com)



erreichte SCHOTT sogar  $+6 \cdot 10^{-9}$  pro Kelvin, mit einer Abweichung von nur  $3 \cdot 10^{-9}$  pro Kelvin über das gesamte Material. Ein 100 Kilometer langes Stück davon würde bei einer Temperaturerhöhung von 10 Kelvin also nur 0,6 Millimeter länger. Auch die mechanischen Ansprüche an Spiegel für Sonnenteleskope sind besonders hoch, denn sie schauen der Sonne beim Aufgehen zu und müssen dazu senkrecht stehen. Der DKIST-Spiegel ist lediglich 7,5 Zentimeter dick, damit er leicht von hinten zu kühlen ist, hat aber ein Eigengewicht von gut drei Tonnen, das er tragen muss, ohne seine Form zu verändern. Er wird dabei von 120 Aktuatoren auf seiner Rückseite unterstützt, die die unvermeidlich auftretende Durchbiegung ausgleichen. Die Eigenschaften von ZERODUR® sind das eine, die Spezifikationen, welche die Wissenschaftler für das Spiegelmaterial formulierten, waren dagegen eine echte Herausforderung. „Seit dem 8-Meter-Projekt, der Herstellung von vier Primärspiegeln mit 8,2 Metern Durchmesser, die größten jemals gegossenen monolithischen Spiegelsubstrate, hat uns kein anderer Auftrag technologisch so herausgefordert und weitergebracht. Die erarbeiteten Technologien werden wir für viele weitere Kundenanfragen intensiv nutzen können“, sagt SCHOTT Projektleiter Thomas Werner. So muss die Glaskeramik extrem homogen sein, denn Blasen und Einschlüsse würden zu Streulicht führen, das den Kontrast verringert. SCHOTT gelang es, ein Spiegelsubstrat herzustellen, bei dem die maximale Anzahl von Blasen pro Volumeneinheit um eine Größenordnung und die erlaubte Blasengröße in der kritischen Schicht um den Faktor 2,5 unterschritten wurde.

Auch die besondere Bauform des Teleskops hatte Konsequenzen für den Spiegel. Da sich innerhalb des Strahlengangs im Teleskop keine weiteren schattenwerfenden Sekundärspiegel befinden sollten, musste der Spiegel in Form einer Off-Axis-Asphäre geschliffen werden. Das bedeutet, dass die Oberfläche in der Mitte einen anderen Krümmungsradius als an den Außenrändern hat und sich diese „Mitte“ zudem nicht im geometrischen Zentrum des Spiegels befindet. Dieser Schliff hat zur Folge, dass der Brennpunkt nicht über dem Spiegel liegt, sondern das Licht zur Seite reflektiert wird. Diese ungewöhnliche Form erforderte ungewöhnlich hohen Aufwand, der sich angesichts der Zufriedenheit des Kunden aber gelohnt hat. DKIST-Projektmanager Joseph McMullin: „Einen Spiegelträger in den geforderten Spezifikationen zu fertigen, war zweifelsohne eine große technologische Herausforderung. SCHOTT war für unser Projekt der perfekte Partner und hat tolle Arbeit geleistet.“

So startete Ende Januar der Spiegel aus Mainz per Schwertransport nach Bremerhaven seine rund sechswöchige Reise, die ihn dann per Schiff quer über den Atlantik durch den Panamakanal nach Los Angeles führte. Damit er den bisweilen heftigen Wellengang über den Atlantik und den anschließenden Straßentransport nach Tucson, Arizona (USA), übersteht, wurde er auf einem speziellen Dämpfungssystem gelagert. Nach Politur und erfolgreicher Montage wird der Spiegel, so die Planung, 2019 das erste Licht in die Instrumente zur genauen Beobachtung unserer Sonne reflektieren.

< [david.schimmel@us.schott.com](mailto:david.schimmel@us.schott.com)



Thanks to the 4.26-meter mirror substrate made of ZERODUR® glass-ceramic, the DKIST will be the world's largest solar telescope. This monolith, which weighs nearly three tons, is only 7.5 centimeters thick (see picture above).

Mit dem 4,26 Meter großen Spiegelträger aus ZERODUR® Glaskeramik wird das DKIST das größte Solarteleskop der Welt sein. Der Monolith ist mit einem Gewicht von gut drei Tonnen nur 7,5 Zentimeter dick (s. Bild oben).