



An exciting moment: The cover of the casting mold is lifted. The viscous glass inside still has a temperature of 1,000 degrees Celsius.

Spannender Moment: Der Deckel der Gussform hebt sich. Darunter ist das zähflüssige Glas immer noch 1.000 Grad Celsius heiß.

Through the Fire to Reach for the Stars Durch das Feuer zu den Sternen

Precision mirrors for telescopes owe their optical qualities to Zerodur®, a special glass ceramic that retains its unique characteristics, despite variations in temperature.

Aus der speziellen Glaskeramik Zerodur® entstehen präzise Spiegel für Teleskope, die ihre optischen Eigenschaften auch bei Temperaturschwankungen beibehalten.

BERNHARD GERL

On June 2, 2006, at SCHOTT in Mainz, the elements were cast that will help us to see the world beyond. A glass mass that glows white was on its way to becoming a four-meter mirror substrate for use in a telescope.

“The melted mass that flows into the casting mold has a temperature of over 1,500 degrees Celsius,” explains Peter Hartmann, head of the company’s astro-space department. The men who continually check the fill level of the mold all wear shiny silver heat protection suits. However, experience in handling

Am 2. Juni 2006 öffnen die Elemente der Hölle den Weg zum Himmel in der Gießhalle bei SCHOTT in Mainz. Aus weiß glühender Glasmasse wird ein Viermeter-Spiegelträger für ein Teleskop entstehen.

„Die Schmelze, die in die Gussform fließt, ist über 1,500 Grad Cel-

sius heiß“, versichert Peter Hartmann, Leiter der Astro-Space-Abteilung des Unternehmens. Die Männer, die regelmäßig den Füllstand der Gussform prüfen, tragen silbrig glänzende Hitzeschutzanzüge. Der Umgang mit dem seit 30 Jahren bewährten Material ist längst erprobt. In zwölf bis fünfzehn Monaten wird aus dieser



Photos | Fotos: A. Seil / SCHOTT AG

this proven material has been gathered over the last 30 years. In twelve to fifteen months, this molten mass will have turned into the glass ceramic Zerodur®, which is an ideal material for many different applications, because its dimensions hardly change at all with changes in temperature. Dr. Helmut Olyschläger, Head of the Optical Materials Business Segment, explains, “The steel rails of ten kilometers of train tracks increase in length by two meters when the temperature rises by 20 degrees Celsius. A piece of Zerodur® with the same length would expand by only one centimeter.” For this reason, a Zerodur® telescope mirror retains the same imaging characteristics, regardless of the temperature.

Heat wave of over 1,000 degrees Celsius

Nevertheless, this hot 18-ton mass of glass still has a long way to go before it can actually call itself a mirror substrate. It takes several hours just to fill the mold. Then, it is rolled out of the workshop on tracks so a crane can lift it onto a flat bed truck. Minutes later, the transport vehicle leaves the factory premises at a snail's pace. The trip continues along a road that has

100 Years of Astronomical Mirrors from SCHOTT

In 1906, the Heidelberg Observatory in Germany made use of the world's very first large-scale mirror telescope. It was equipped with a mirror made of optical glass from SCHOTT that was 720 millimeters in size. During the decades that followed, the company continued to cast larger and larger mirror substrates for telescopes that were becoming more and more sensitive to light intensities. These substrates were initially made of crown glass and later from glasses with a lower degree of thermal expansion that were able to deliver more consistent imaging characteristics.

In the early 1970's, SCHOTT set a milestone by developing its glass ceramic product, Zerodur®. Between 1993 and 1996, SCHOTT poured the largest monolithic mirror substrates made of this material, with a width of 8.20 meters, for use in the four ESO telescopes for the VLT (Very Large Telescope) on top of the Cerro Paranal in Chile. Even larger telescopes were produced by assembling hexagonal segments. For example, the 10.4-meter telescope GRANTECAN that is currently being built on La Palma consists of 36 mirror substrate segments. In the future, mirror telescopes with diameters of 30 or even 100 meters will be possible. Here, too, Zerodur® is certain to remain the material of choice.

100 Jahre Astrospiegel von SCHOTT

1906 nahm die Heidelberger Sternwarte in Deutschland eines der größten Spiegelteleskope der Welt in Betrieb: mit einem 720 Millimeter großen Spiegel aus optischem Glas von SCHOTT. In den nächsten Jahrzehnten goss das Unternehmen immer größere Spiegelträger für immer lichtstärkere Teleskope; erst aus Kronglas, später aus Gläsern, die eine geringere Wärmeausdehnung hatten und deshalb für konstantere Abbildungseigenschaften sorgten. Anfang der 70er Jahre setzte SCHOTT einen Meilenstein mit der Entwicklung der Zerodur® Glaskeramik. Die mit 8,20 Metern größten monolithischen Spiegelträger aus diesem Material goss SCHOTT 1993 bis 1996 für die vier Teleskope des VLT (Very Large Telescope) der ESO auf dem Cerro Paranal in Chile. Noch größere Teleskope werden aus hexagonalen Segmenten zusammengesetzt. So besteht das im Aufbau befindliche 10,4-Meter-Teleskop GRANTECAN auf La Palma aus 36 Spiegelträgersegmenten. Die Zukunft wird Spiegelteleskope mit 30 oder gar 100 Metern Durchmesser bringen. Erste Wahl dafür: Zerodur®.



Photo | Foto: SCHOTT AG

been closed to traffic and through another area of the SCHOTT plant. A hydraulic system compensates for any unevenness in the roads so that the viscous glass does not flow. The truck then arrives at the hall that contains the so-called annealing furnace. Here, the blank will be able to cool off under controlled conditions. This is also where the next "hot part" of the job starts. The cover has to be removed from the casting mold. The glass beneath it still has a temperature of over 1,000 degrees Celsius. All of the sensitive areas of the hall have been covered with heat protection covers. The moment that the crane lifts up the lid, the surrounding area suddenly takes on an orange glow and a piercing wave of heat shoots through the room.

Once this spectacle has ended, this high-tech material can look forward to a much easier future. Inside the annealing furnace, it will be allowed to spend the next several months cooling down. Due to how little it conducts heat, the technicians will ensure that it does not cool off too quickly. After all, the differences in temperature inside and outside could result in

Schmelze die Glaskeramik Zerodur® entstanden sein. Ein für viele Anwendungen idealer Werkstoff, denn er verändert seine Maße bei Temperaturänderungen so gut wie nicht. Dr. Helmut Olyschläger, Leiter des Geschäftssegments Optical Materials, veranschaulicht das: „Die Stahlschienen einer zehn Kilometer langen Eisenbahnverbindung werden über zwei Meter länger, wenn die Temperatur um 20 Grad Celsius steigt. Ein ebenso langes Stück Zerodur® dehnt sich nur um einen Zentimeter aus.“ Ein Zerodur® Teleskopspiegel hat deshalb bei allen Temperaturen die gleichen Abbildungseigenschaften.



The journey progresses at a snail's pace on a main road that was closed.

Die Fahrt geht im Schrittempo über eine gesperrte Hauptverkehrsstraße.

ZERODUR® GLASS CERAMIC: EXTREMELY TEMPERATURE RESISTANT

Zerodur® is an inorganic, non-porous glass ceramic. It owes approximately 70 to 78 percent of its weight to crystallites 30 to 50 nanometers in size and a remaining glassy phase. The crystallites contract when they are subjected to heat, whereas the glass itself expands. Thanks to the perfect mixture of ingredients, the thermal expansion coefficient is extremely low. In fact, between 0 and 50 degrees Celsius, it is nearly zero. The crystallites result after the molten glass has cooled to room temperature by continually tempering the glass over a period of several months, which means heating it slowly to nearly 1,000 degrees Celsius.

The resulting material is extremely homogeneous, chemically stable and can be processed and polished without difficulty. Among other things, it is used for optical elements in lithography, high-precision mechanical components and mirror substrates for astronomy. The chemical stability of Zerodur® is so high that the aluminum coating of a mirror substrate can be removed and restored many times without affecting the optical characteristics of the mirror.

ZERODUR® GLASKERAMIK: EXTREM TEMPERATURSTABIL

Zerodur® ist eine anorganische, porenfreie Glaskeramik. Sie besteht zu etwa 70 bis 78 Gewichtsprozent aus 30 bis 50 Nanometer großen Kristalliten und einer Restglasphase. Die Kristallite ziehen sich bei Erwärmung zusammen, das Glas dehnt sich dagegen aus. Aufgrund des abgestimmten Mischverhältnisses ist der thermische Ausdehnungskoeffizient sehr klein. Er beträgt zwischen 0 und 50 Grad Celsius fast Null. Die Kristallite entstehen nach Abkühlung der Glasschmelze auf Raumtemperatur durch mehrmonatiges Tempern, eine sehr langsame Erhitzung auf fast 1.000 Grad Celsius.

Der resultierende Werkstoff ist sehr homogen, chemisch stabil, lässt sich gut bearbeiten und polieren.

Er wird etwa für optische Elemente in der Lithographie, für mechanische Präzisionsbauteile und für Spiegelträger in der Astronomie eingesetzt. Die chemische Beständigkeit von Zerodur® ist so hoch, dass sich die Aluminiumbeschichtung eines Spiegelträgers mehrmals entfernen und wieder neu aufbringen lässt, ohne dass sich die optischen Eigenschaften verändern.



Photo | Foto: SCHOTT AG

Hitzewelle mit
über 1.000 Grad Celsius

Es ist aber noch ein weiter Weg, bis die 18 Tonnen heißflüssige Schmelze zum Spiegelträger geworden sind. Einige Stunden vergehen allein, bis die Form gefüllt ist. Anschließend rollt die Form auf Schienen aus der Werkshalle. Ein Kran hebt sie dann auf einen Tieflader. Im Schrittempo rollt das Transportfahrzeug wenig später aus dem Werksgelände. Die Fahrt geht behutsam über eine gesperrte Hauptverkehrsstraße in einen anderen Teil des SCHOTT Werks. Eine Hydraulik gleicht Unebenheiten der Straße aus, damit das zähflüssige Glas nicht hin und her fließt. Der Tieflader erreicht die Halle, dort steht der so genannte Kühllofen, in dem der Rohling kontrolliert abkühlen soll. Hier beginnt der nächste „heiße Teil“ der Aktion: das Abheben des Deckels von der Gussform. Das Glas darun-



Customized: Not only manufacturing, but also transporting the four-meter telescope substrate that had just been poured requires the highest precision.

Maßarbeit: Nicht nur die Fertigung, auch der Transport des gerade gegossenen Vier-Meter-Spiegelträgers verlangt höchste Präzision.

mechanical stress and cause the huge disk to break. The next phase of manufacturing calls for initial polishing and then ceramization of the glass. The future mirror substrate is heated up to nearly 1,000 degrees Celsius once again and allowed to cool down over a period of several months. Then, the disk undergoes final finishing at SCHOTT and a specialized company performs ultra-fine polishing and metallization.

The valuable component will most likely be sent to the National Optical Astronomy Observatory in Tucson, Arizona. If all goes as planned, five projects involving a total of eight four-meter mirrors will be realized over the next few years. As soon as the telescope mirrors begin to deliver extremely sharp images of the night sky, no one will even remember how much heat was involved in producing them. < |

ter ist immer noch über 1.000 Grad Celsius heiß. Alle empfindlichen Teile in der Halle sind durch Hitzeschutzfolien geschützt. Als ein Kran den Deckel wenige Zentimeter anhebt, taucht strahlendes Licht alles in Orange. Eine stechende Hitzewelle durchflutet den Raum.

Nach diesem Spektakel hat der Hightech-Werkstoff eine ruhigere Zukunft vor sich. Im Kühllofen darf er sich mehrere Monate Zeit nehmen, um auszukühlen. Weil er die Wärme sehr schlecht leitet, muten ihm die Techniker keine schnelle Abkühlung zu, sonst könnten durch Temperaturunterschiede zwischen innen und außen mechanische Spannungen entstehen und die mächtige Scheibe würde zerspringen. Als nächster Fertigungsschritt folgt ein erster Schliff, daran schließt sich die Keramisierung des Glases an. Dazu wird der künfti-

ge Spiegelträger in einem weiteren, monatelangen Prozess noch einmal langsam im Kühllofen auf fast 1.000 Grad Celsius erhitzt und wieder abgekühlt. Danach wird die Scheibe bei SCHOTT endbearbeitet sowie von einer Spezialfirma aufwändig feinstpoliert und verspiegelt.

Empfänger des Millionen Euro teuren Werkstücks wird voraussichtlich das National Optical Astronomy Observatory in Tucson im US-Bundesstaat Arizona sein. Läuft alles nach Plan, gilt es in den nächsten Jahren fünf Projekte mit insgesamt acht Viermeter-Spiegeln zu realisieren. Und wenn die Teleskopspiegel dann in kühlen Sternennächten schärfste Bilder aus dem Nachthimmel liefern, erinnert sich keiner mehr daran, dass sie buchstäblich aus dem Höllenfeuer entstanden sind. < |

thorsten.doehring@schott.com