

ERDROTATION EXAKT

Die Formstabilität der Messanordnung ist entscheidend für den Erfolg des größten und präzisesten Ringlaserkreisels der Welt. Ein Grund „Zerodur“ als Basismaterial einzusetzen.

Fundamentalstation Wettzell, 7. Juni 2000. Millimeter für Millimeter lässt der Kran eine 10 Tonnen schwere „Zerodur“ Glaskeramikscheibe in das im Rohbau fertiggestellte Tiefenlabor hinab. Der Gigant mit einem Durchmesser von 4,25 Metern und einer Dicke von 25 Zentimetern bildet das Herzstück des Ringlasers „G“, des weltweit größten Geräts seiner Art. Nach mehreren Stunden ruht der „Zerodur“ Block endlich acht Meter unter der Erdoberfläche auf seinem Betonfundament, das wiederum 12 Meter tiefer auf stabilem Felsen gründet. „Schon ein komisches Gefühl“, urteilt Dr. Ulrich Schreiber von der Technischen Universität München, „wenn das ganze Experiment am Haken in der

Schwebe hängt.“ Auftraggeber eben jenes Experiments im geodätischen Observatorium Wettzell ist das Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG) Frankfurt/Main, gemeinsam mit der Forschungseinrichtung Satellitengeodäsie (FESG) der TU München. Das ehrgeizige Ziel: Kurzfristige Schwankungen der Erdrotation nachzuweisen.

Alternative zu Radioteleskopen

Bisherige Verfahren beruhen darauf, die Rotation der Erde mit Radioteleskopen relativ zu Objekten wie entfernten Radiosternen oder Quasaren zu ermitteln. Das raumfeste Bezugssystem der Quasare lässt sich anhand dieser Messungen mit Bezugssystemen auf der sich drehenden Erde verknüpfen – beispielsweise für satellitengestützte Navigationssysteme wie dem „Global Positioning System“ (GPS) eine wichtige Information. Doch diese Messungen sind relativ aufwendig und nur im Verbund mit mehreren Radioteleskopen an verschiedenen Stellen auf der Erde auszuführen. Von daher sind unabhängige Alternativverfahren bedeutsam.

Ringlaser sind eine solche Alternative – allerdings nicht in der Variante, wie sie seit langem als Kompasssystem für Flugzeuge in Gebrauch ist. Diese Laserkreise müssen in ihrer Empfindlichkeit um mehr als das Tausendfache gesteigert werden. Die Realisierung des Messprinzips und die technischen Voraussetzungen wurden in einer Projektstudie untersucht, gemeinsam durchgeführt vom BKG, der TU München und der University of Canterbury/Neuseeland. Hierzu wurde ein 1 Quadratmeter großer

Prototyp bei der Firma Carl Zeiss unter Verwendung eines „Zerodur“ Monolithen von Schott hergestellt und 1997 in einem unterirdischen Labor in Neuseeland installiert und erprobt.

Testlauf bestätigt Realisierbarkeit

Die Forscher in Neuseeland verfügten bereits über ein Höhlenlabor mit der notwendigen Infrastruktur – ausreichend für die angestrebten Testzwecke mit dem „Zerodur“ Block, der dafür rund um den Globus verschifft wurde. Der Erfolg gab der Mühe Recht: „Wie wir schon vorher wussten, war der Sagnac-Effekt bei diesem Ringlaser zu gering, um Schwankungen der Tageslänge nachzuweisen. Wir konnten aber die erhofften Erkenntnisse darüber gewinnen, wie sich die Verstärkung des



In Neuseeland wurde das Messprinzip des Ringlasers mit einem bei Zeiss auf der Basis von „Zerodur“ hergestellten Prototyp erfolgreich getestet.

E R F O R S C H E N

Laserlichts, Schwankungen der Umgebungstemperatur sowie der Druckverhältnisse auf das Experiment auswirken“. Darüber hinaus ließ der Ringlaser aber auch weitere Anwendungsmöglichkeiten erahnen. Dr. Schreiber: „Wir konnten beispielsweise das verheerende Erdbeben, das im vergangenen Jahr in der Türkei stattgefunden hat, mit dem Ringlaser „sehen“ – und das, obwohl es auf der gegenüberliegenden Seite des Erdballs stattfand. Diese Ringlaser-Seis-

mogramme sehen anders aus als die üblichen seismologischen Messungen – vielleicht lassen sich daraus im interdisziplinären Zusammenspiel neue Erkenntnisse über Erdbeben gewinnen.“

Herzstück des präzisesten Ringlaserkreisels der Welt ist eine 4,25 Meter durchmessende „Zerodur“ Scheibe. Durch eine spezielle Wärmebehandlung dehnt sich das Material bei Temperaturunterschieden von einem Kelvin nur noch ein 60 Millionstel Millimeter aus.

„Zerodur“ als Material der Wahl

Zu diesem Zeitpunkt waren die Würfel für einen noch größeren Ringlaser bereits gefallen. 1998 hatte Carl Zeiss in Oberkochen vom BKG grünes Licht zum Bau des Großringlasers „G“ erhalten – wieder auf Basis eines „Zerodur“ Blocks von Schott. Warum nun aber ausgerechnet dieser Werkstoff? Um den geringfügigen Gangunterschied der Laserstrahlen nachzuweisen, darf sich die eigentliche Messanordnung und damit der Strahlengang des Laserlichts nicht verändern. „Zerodur“ mit seiner Eigenschaft, sich bei Temperaturschwankungen praktisch nicht auszudehnen, erschien uns unter mehreren Kandidaten als erfolgversprechendstes Basismaterial“, argumentiert Dr. Ulrich Schreiber. Dennoch sollte bei



dem 4,25 Meter großen Monolithen für den Wettzeller Ringlaser die Ausdehnung bei Temperaturschwankungen noch geringer sein als bei dem Prototypen.

Das war 1992 noch nicht absehbar, als der ursprünglich 20 Tonnen schwere Glaskeramik-Block – der jetzt als Grundstock für den Ringlaser dienen sollte – bei Schott als Spiegelträger für die Astronomie gegossen wurde. Doppelte Umsicht und Vorbereitung bei jedem Fertigungsschritt waren deshalb gefragt. Die Rohscheibe wurde zunächst in zwei Hälften geschnitten – eine Prozedur von einer Woche – und unter ständigen Qualitätsmessungen in seine jetzige Form gebracht. Um die Temperaturexpansion auf ein Fünftel des bisherigen „Zerodur“ Werts zu bringen, erhielt der Rohling eine zusätzliche Wärmebehandlung – Nachkeramisierung genannt – die drei Monate in Anspruch nahm. Als Resultat dieser Behandlung dehnt sich der Block jetzt bei Temperaturschwankungen um ein Kelvin lediglich noch um 60 Milliardstel Meter aus.



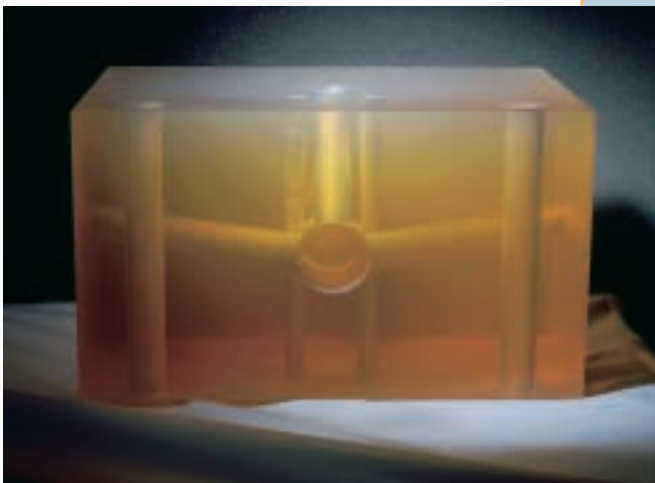
Computergrafik des Laserkreisels: je größer der umlaufende Strahlengang, desto genauer die Messung.

Fertigstellung im Sommer 2001

Die Firma Zeiss war federführend bei der Positionierung des Systems. „Nicht die Ausrichtung entlang einer Himmelsrichtung war bei dieser Präzisionsarbeit entscheidend“, wie Ulrich Schreiber erläutert, „sondern der exakte Auflagepunkt. Schließlich darf sich der Ringlaser nicht in sich verformen“. Denn das würde

Sagnac-Effekt: Laserkreisel registriert Frequenzunterschiede

Bei einem Ringlaser bilden mehrere Spiegel einen ringförmig geschlossenen Strahlengang – auch Resonator genannt –, der beispielsweise eine quadratische Fläche umschließt. Dieser Strahlengang ist von einer Edeltahlröhre eingefasst, in der ein Gasgemisch aus Helium und Neon mit hochfrequenten Radiowellen dazu angeregt wird, Laserlicht einer bestimmten Wellenlänge abzugeben. Dieses Laserlicht kann den Strahlengang nun in zwei entgegengesetzten Richtungen durchlaufen: einmal im und einmal gegen den Uhrzeigersinn. Ruht diese Anordnung, treffen sich die gegenläufigen Laserstrahlen jeweils genau am Ausgangsort wieder. Dreht sich die Anordnung jedoch, weil sie beispielsweise an der Rotation der Erde teilnimmt, so verkürzt sich für den einen Laserstrahl der Weg, während der andere dem Ausgangsort „hinterher laufen“ muss. Als Folge daraus stellt sich ein minimaler Frequenzunterschied zwischen beiden Umlaufsinnen ein. Dies wird als Sagnac-Effekt bezeichnet. Der Gangunterschied als Maß für die Drehgeschwindigkeit des Bezugssystems ist der im Ringlaser eingeschlossenen Fläche proportional – daher ist die Größe des Ringlasers ein entscheidender Faktor. Mit 16 Quadratmeter umlaufener Fläche ist der Ringlaser von Wettzell der größte und genaueste der Welt.



„Zerodur“ Versuchsblock für Bohrungen, die zur Anbringung von Laserapparatur und Strahlführungssystem benötigt werden.



Die verpackte „Zerodur“ Scheibe erreicht ihr Ziel in Wettzell. Im Hintergrund: Radioteleskop, mit dem ebenfalls Erdrotationsmessungen durchgeführt werden können.



die Stabilität stören und damit den Erfolg der Messung in Frage stellen. „Immerhin wollen wir Frequenzunterschiede von lediglich einem Millionstel Hertz aus einer Frequenz von 300 Hertz erfassen. Ein Frequenzunterschied, der den üblichen Schwankungen der Erdrotation innerhalb eines Tages entspricht.“

Die Glaskeramik-Scheibe wird nun noch mit vier Querbalken aus „Zerodur“ versehen, an denen dann die von Zeiss ge-

fertigte Edelstahlkonstruktion der Laserapparatur und des Strahlführungssystems angebracht werden. Anschließend wird das Instrument mit einem Druckbehälter umgeben und das gesamte Tiefenlabor in Wettzell thermisch versiegelt – alles Maßnahmen, die für dauerhaft stabile Umgebungsbedingungen sorgen sollen. Mit der Fertigstellung des „G“ wird im Sommer 2001 gerechnet. Schrittweise werden sich die Wissenschaftler dann an die notwendige Auflösung herantasten – bis zum Finale: „Das schönste Ergebnis“, so Dr. Schreiber, „wird sein, wenn endlich Schwankungen innerhalb eines Tages sichtbar werden“ ■

Der 10 Tonnen schwere Glaskeramik-Monolith wird auf das Betonfundament des künftigen Tiefenlabors herabgelassen.



ROSAT: Methusalem unter den Satelliten

Der deutsche Röntgensatellit ROSAT wurde am 1. 6. 1990 in Betrieb genommen. Sein Spiegelsystem, von Carl Zeiss gebaut, sollte eigentlich nur zwei bis drei Jahre funktionieren, doch noch bis vor wenigen Monaten funkte der Satellit sensationelle Bilder zur Bodenstation.



Die Optik, mit der Röntgenstrahlung ausfindig gemacht wird, ist röhrenförmig. Vier Spiegelschalen aus „Zerodur“ Glaskeramik von Schott sind so miteinander verbunden, dass ein genestetes Wolterteleskop gebildet wird. Die Außenflächen der Spiegel wurden abgeätzt, damit sie den Belastungen beim Raketenstart standhalten konnten. Das Spiegelsystem von ROSAT stand bereits vor seiner Inbetriebnahme als genauester Spiegel der Welt im Guinness-Buch der Rekorde. Die Genauigkeit bezieht sich sowohl auf die Spiegeloberfläche als auch auf den Einbau der Schalen.

ROSAT hat bereits viele Neuentdeckungen gemacht. „Die wertvollsten Bilder hat ROSAT zu der Zeit geliefert, als er gar nicht mehr funktionieren sollte“, so Prof. Joachim Trümper vom Max-Planck-Institut für Extraterrestrische Physik in Garching. So funkte der Satellit der Bodenstation eine vorher nie da gewesene Himmelskarte.

Über 100.000 Röntgenquellen machte er aus, die vor ROSAT unbekannt waren. Dank ihm konnten Spuren von Titan 44 in einer Explosionswolke einer Supernova nachgewiesen werden – ein Element, das nach kosmischen Verhältnissen eine sehr geringe Lebensdauer hat. Spektakulär war auch der Nachweis von Röntgenemissionen bei „Braunen Zwergen“, der erst vor wenigen Jahren entdeckten „L-Klasse“ im Universum.

ROSAT ist nun seit einigen Monaten nicht mehr in Betrieb. Bis zuletzt lieferte die Optik einwandfreie und brillante Bilder. Der Satellit wurde durch das Chandra-Observatorium abgelöst, das ebenfalls mit „Zerodur“ Spiegelschalen ausgerüstet ist. Die hochinteressanten Ergebnisse von ROSAT brauchen jedoch noch Jahre, um ausgewertet zu werden ■

Sandra Adams



Für das Spiegelsystem des erfolgreichen Röntgensatelliten ROSAT lieferte Schott in den achtziger Jahren vier Spiegelschalen aus „Zerodur“.