

# Ein Stück Kosmos vor der Haustür

Wenn die große Vakuumkammer aus dem Keller des Sonnenofengebäudes in den Experimentalbereich geschoben wird, steht ein ganz besonderes Experiment an. Dann sind nicht Fragestellungen aus dem Bereich der erneuerbaren Energien das Thema. Es geht um Weltraumforschung. Denn seit zehn Jahren werden am Sonnenofen des DLR in Köln und seit 2007 auch am Hochleistungsstrahler Komponenten für die Raumfahrt getestet. Die Idee liegt eigentlich nahe: Wenn Bauteile auf ihr Verhalten unter kosmischen Bedingungen hin untersucht werden sollen, dann bietet es sich an, die Sonne als Energiequelle zu nutzen, anstatt fossile Quellen oder Lampen-Arrays zu bemühen. Bei Tests solcher Einzelteile wie Fotozellen, Isolierschichten oder Schutzplatten geht es meistens um die Widerstandsfähigkeit gegenüber harten und lang anhaltenden thermischen und ultravioletten Belastungen, wie sie im Weltraum auftreten. Die Kunden der DLR-Wissenschaftler sind europaweit agierende Hersteller von Satelliten, wie EADS Astrium in Toulouse, Alenia Thales Space oder auch die Europäische Weltraumorganisation ESA.

## Weltraumexperimente im DLR-Sonnenofen

Von Dr.-Ing. Gerd Dibowski

Als vor mehr als zehn Jahren die Vakuumtechnik am Sonnenofen im DLR Köln Einzug hielt, hatten die DLR-Ingenieure eine Vision: Aus Kontakten zum Institut für Weltraumphysik entsprang die Idee, den Sonnenofen auch für Weltraumexperimente zu nutzen. Denn im Sonnenofen lassen sich relativ große Flächen mit hoher Bestrahlungsstärke beleuchten. Und noch ein Vorteil gegenüber Sonnensimulatoren: Es kann annähernd Sonnenspektrum bereitgestellt werden. Andere Raumsimulationsanlagen gestatten nur wenige Solarkonstanten (SC) an Bestrahlungsstärke und verwenden ausschließlich Lampen.

Das erste Weltraumexperiment geht auf eine Kooperation zwischen dem Institut für Weltraumsensorik und Planetenerkundung des DLR und dem Institut für Mineralogie und Geochemie der Universität Köln zurück. Es hatte das Ziel, durch thermische Spaltung beziehungsweise Pyrolyse von Mondgestein (hier Chondren, also aus dem vor-planetarischen Sonnennebel entstandene Einschlüsse in Meteoriten) das Potenzial der Sauerstoffgewinnung zu untersuchen. Und in der Tat konnte gezeigt werden, dass sich das Material mit der konzentrierten Energie der Sonne aufschmelzen lässt.

Nachdem in einer kleineren Vakuumkammer die Möglichkeiten des Sonnenofens erfolgreich demonstriert worden waren, wurde eine deutlich größere Vakuumkammer von mehr als einem Meter Durchmesser beschafft und damit die Tür zu weiteren Weltraumexperimenten geöffnet.

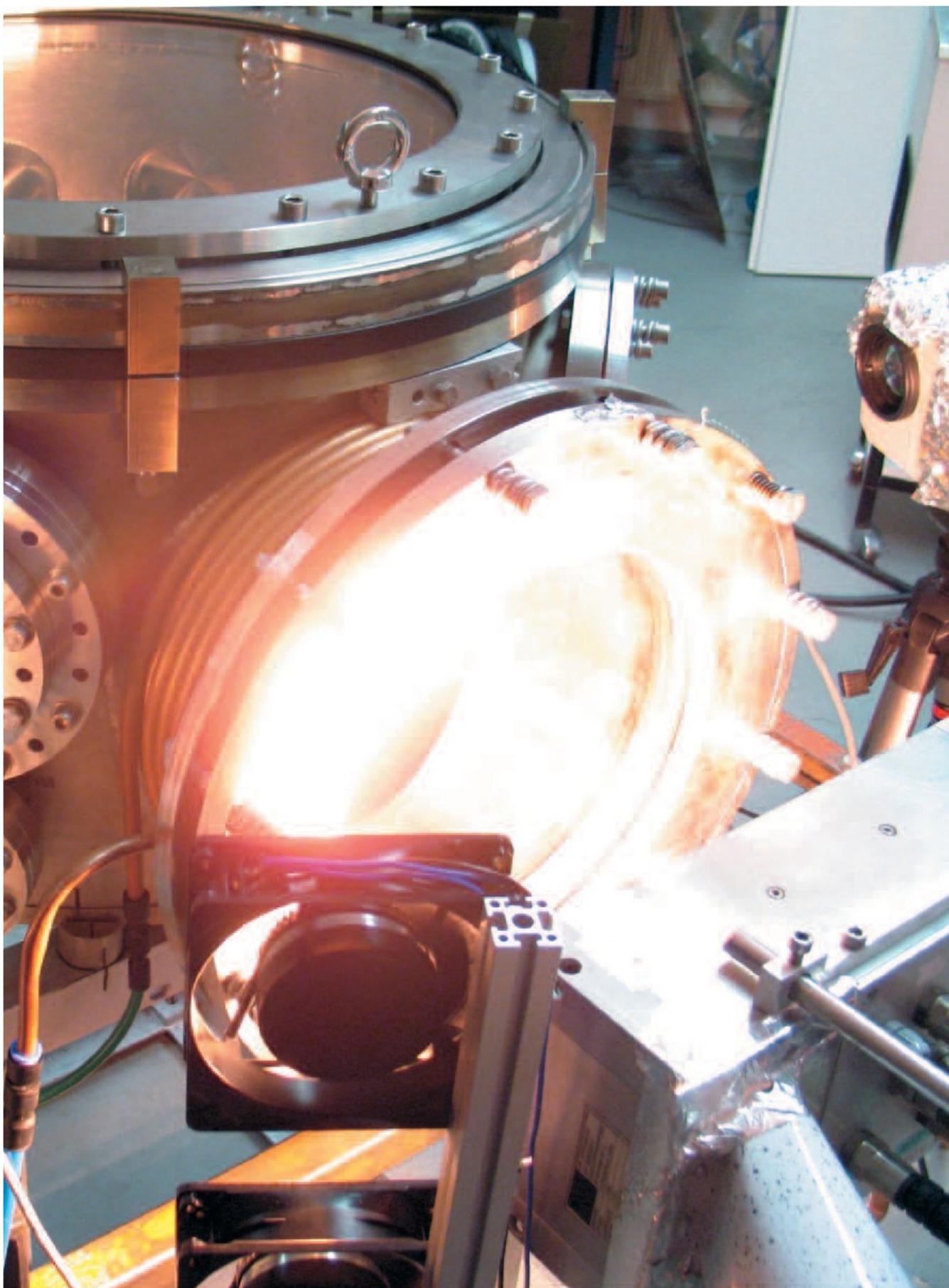
### Tests für die Merkur-Mission Bepi Colombo

Dem Chondren-Sauerstoff-Experiment folgte die bisher umfangreichste Versuchsserie für mehrere unterschiedliche Komponenten der Raumsonde Bepi Colombo. Sie soll im Jahre 2015 zum sonnennächsten Planeten, Merkur, fliegen, um dort die geologischen, magnetischen und atmosphärischen Bedingungen zu untersuchen. Die besondere Herausforderung dieser Mission liegt darin, dass alle bisherigen interplanetarischen ESA-Missionen sonnenfern waren, also die Technik vor allem großer Kälte ausgesetzt war. Bepi Colombo ist die erste ESA-Mission, die einen Satelliten in heiße Regionen bringt. Ist der Planet Merkur erreicht, wird die der Sonne zugewandte Seite des Satelliten

## Forschung mit Solarenergie

Seit der Inbetriebnahme des Sonnenofens im Jahre 1994 wurden insgesamt etwa 180 Experimente durchgeführt. Der Schwerpunkt lag dabei auf solarer Chemie und Materialforschung. Die Spaltung von Abfallschwefelsäure, das Recyclieren von Abfall-Aluminium, die solare Produktion von Wasserstoff oder Kenntnisse über die Alterung von Autolacken sind typische Anwendungen für die Forschungsergebnisse aus dem Bereich der erneuerbaren Energien.

Fotозelle für Bepi Colombo im Härtetest: Mit einem speziellen Infrarotstrahler wird sie im Vakuum hoher thermischer Belastung ausgesetzt



## Testanlage für Extrembelastungen

Mit dem Hochflussdichte-Sonnenofen und dem Xenon-Hochleistungsstrahler erproben DLR-Wissenschaftler neue Technologien. Dafür arbeiten sie mit konzentriertem Sonnen- und Kunstlicht, das Bestrahlungsstärken von bis zu fünf Megawatt pro Quadratmeter und Temperaturen von über 2.000 Grad Celsius möglich macht. Forscher und Anwender aus Wissenschaft und Industrie haben damit vielfältige Möglichkeiten, Verfahren, in denen konzentrierte Solarstrahlung technisch genutzt werden soll, zu entwickeln und zu qualifizieren. Dabei geht es insbesondere um die chemische Speicherung von Sonnenenergie sowie deren Anwendung in chemisch-technischen und metallurgischen Hochtemperaturprozessen.

extrem heiß und die Rückseite gleichzeitig extrem kalt. Die außen liegenden Komponenten des Raumflugkörpers müssen mit etwa dem Zehnfachen der terrestrischen Einstrahlung (10 SC) fertig werden. Diese hohen thermischen Belastungen lassen sich mit einem Sonnenofen hervorragend nachbilden. Auch wenn das Spektrum durch die atmosphärischen Einflüsse nicht mehr ganz dem am Merkur entspricht, so ist es doch näher an den Weltraumbedingungen als das Spektrum von Kunstlichtstrahlern, die in der Raumfahrtindustrie für solche Testzwecke bisher eingesetzt wurden.

Ein zweiter Fakt, der von der Raumfahrtindustrie geschätzt wird, ist die für Einzelteile von Raumflugkörpern vorteilhafte Größe des Sonnenofens. Für Tests einzelner Komponenten eine Vakuumkammer und dazugehörigen Service anzumieten, in der auch ein ganzer Satellit vollständig Platz findet (wie den Large Space Simulator (LSS) des ESTEC Test Centers der ESA im niederländischen Noordwijk), geht mit erheblichen Kosten einher. Diese größte Vakuumkammer Europas mit einem Durchmesser von zehn und einer Bautiefe von 15 Metern ist für Langzeitstabilitätstests einzelner Fotozellen mit Kantenlängen von einigen Dezimetern schlicht überdimensioniert.

Der erste Auftrag für Bepi Colombo hatte das Ziel, thermische Tests an zwei verschiedenen Proben von Solarzellen-Strukturen durchzuführen, die bei der Mission zum Einsatz kommen sollen. Die Zellen sind 20 mal 20 Quadratzentimeter groß und müssen mit bis zu zehn Solarkonstanten (zehn SC entsprechen

## Aufbau des Xenon-Hochleistungsstrahlers

Ein Kunstlicht-Hochleistungsstrahler auf Basis von elliptischen Reflektoren mit Xenon-Kurzbogenlampen ergänzt den Sonnenofen in Zeiten winterlichen Strahlungsmankos und für Langzeitexperimente. Die von den Reflektoren abgestrahlte kurzwellige Strahlung mit einer Leistung von etwa 25 Kilowatt wird auf einem Zielbereich im Abstand von drei Metern als konzentrierte Energie mit einer Leistungsdichte bis zu 4,1 Megawatt pro Quadratmeter auf einer 100 Quadratzentimeter großen Fläche für unterschiedlichste Anwendungen zur Verfügung gestellt.

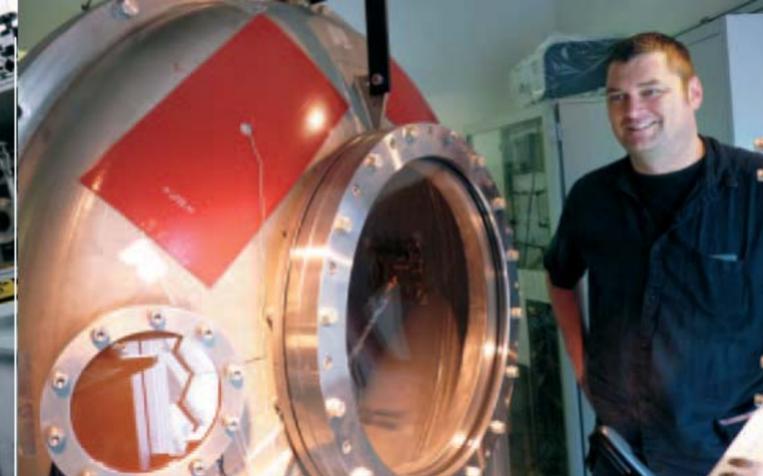
circa 14 Kilowatt je Quadratmeter), gemäß dem Merkur-Orbit, gleichmäßig bestrahlt werden. Dabei waren sowohl Dauertests wie auch Schocktests zu fahren. Im Zuge dieser Testserie wurden vom Sonnenofen-Team in Eigenregie Systeme entwickelt und gebaut, die helfen sollten, die späteren Bedingungen so realitätsnah wie möglich abzubilden. Dazu braucht man ein Kühlsystem, das die extremen Temperaturunterschiede zwischen der Vorder- und Rückseite simuliert. Die DLR-Ingenieure des Sonnenofens entwickelten dafür ein System, mit dem die späteren realen Temperaturen an den Fotozellen von Bepi Colombo von bis zu minus 150 Grad Celsius simuliert werden konnten.

### Langzeitbestrahlung von Fotozellen simulierte die Sonnennähe

Für spezielle Test-Anforderungen sind die Rahmenbedingungen oft nicht so, dass die realen Verhältnisse im Versuch direkt abgebildet werden könnten. Daher wurde in den nun 18 Jahren Sonnenofenbetrieb immer wieder improvisiert, umgebaut, repariert und vor allem neu konstruiert. Für die Fotozellentests entwickelten die Ingenieure einen Versuchsaufbau, in dem zwei gekühlte Hohlkammern sich symmetrisch zueinander öffnen, um die eingeschlossene Fotozellenanordnung langsam für die Bestrahlung freizugeben. Die Einheit verfügt über ein Kanalsystem, das mit flüssigem Stickstoff beschickt werden kann. Sensoren an der Pumpe sorgen dabei für ein konstantes Stickstoffniveau innerhalb der Kühleinheit.



Dipl.-Ing. Christian Willsch, hier vor einem Messaufbau für Strahlenflussmessgeräte, leitet den Betrieb des Sonnenofens



Dr. rer. nat. Christian Raeder an der großen Vakuumkammer. Durch deren rundes Quarzglasfenster tritt die Strahlung ein.

### Jüngster Versuch zeigt Strahlungsbeständigkeit von Aluminium und Titan

Der jüngste Weltraumversuch im Sonnenofen endete nach sechs Bestrahlungsmonaten im Sommer 2012. Bei den Tests zum CSO-Programm „Solar Irradiation Test for the CSO MLI Blankets and Coatings“ des Centre National D'Etudes Spatiales (CNES Toulouse) wurden verschiedene Materialien, wie Aluminium, Titan oder auch „Multi Layer Insulations“ (MLIs) mit speziellen Beschichtungen auf ihre Beständigkeit gegenüber konzentrierter Strahlung überprüft. Dabei werden nicht nur die Flussdichten, wie sie im Weltraum vorkommen können, simuliert, sondern auch die im freien Raum fehlende Konvektion, durch die sich die Probe abkühlen könnte. Die wesentliche Herausforderung besteht dabei darin, die vorgegebenen Versuchsparameter, wie Dauer und Stärke der Bestrahlung, exakt einzuhalten. Dabei wurden Leistungsdichten von 17 bis 230 Kilowatt pro Quadratmeter angelegt. Bei sehr hohen Leistungsdichten sieht man den Proben die Belastung nach dem Experiment an: Sie ändern ihre Farbe, Struktur oder werden spröde.

Ziel der Versuchskampagne war es aber vor allem, genau festzustellen, wie viel Material von einer solchen Beschichtung abdampft. Dazu werden in der Vakuumkammer sogenannte „witness-plates“ platziert. Dies sind blankpolierte Metallscheiben, die gekühlt werden und dadurch den Niederschlag adsorbieren, der von der bestrahlten Probe kommt. Dieser Niederschlag kann mit Hilfe von spektroskopischen Methoden qualitativ und quantitativ bestimmt werden. Um eine möglichst hohe Genauigkeit zu erlangen, muss dazu ein sogenannter Leertest gefahren werden, um zunächst den Verschmutzungsgrad der Kammer selbst zu bestimmen. Des Weiteren wird in einem aufwändigen Reinigungsprozess inklusive dreitägiger Aufheizphase die Kontamination der Kammer minimiert.

Die von den DLR-Ingenieuren entwickelte Flussdichte-Messtechnik gilt weltweit als führend. Die besonders hohen Anforderungen der Kunden aus der Weltraumindustrie an die Präzision der Messungen führte auch zu einer Verbesserung des Systems Sonnenofen. Davon wiederum profitieren nun auch die Experimentatoren aus dem ursprünglichen Kerngebiet der erneuerbaren Energien. ●

**Weitere Informationen:**  
<http://s.dlr.de/49fm>

**Autor:**  
Dr.-Ing. Gerd Dibowski ist gelernter Maschinenbauer mit Elektrotechnikausbildung und hat den Sonnenofen sowie den Hochleistungsstrahler mit aufgebaut. Er leitet, nach mehreren Jahren im Experimentalbetrieb, seit 2006 die Großanlage Sonnenofen.

