



Das Magazin des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR) · www.DLR.de · Nr. 130 · Juni 2011

DLR magazin 130

Streifen um Streifen. Stück für Stück.

Die Zwillingssatelliten TanDEM-X und
TerraSAR-X vermessen gemeinsam die Erde.

Gegen die Schwingung:
Präzise Robotersysteme

Geheimnisvolles Multitalent:
Das Potenzial von Aerogelen

Der Flügel denkt mit:
Formvariable Flugzeugstrukturen



Liebe Leserinnen und Leser,

Wissenschaftskommunikation ist die vordringlichste Aufgabe der Kommunikationsabteilung eines Forschungszentrums. Das schreibt sich so leicht, doch was steckt eigentlich dahinter? Wikipedia beschreibt, dass die Ziele der Wissenschaftskommunikation so vielfältig sind wie deren Bezugsgruppen: Von der Schaffung breiter gesellschaftlicher Akzeptanz für neue Technologien über interdisziplinäre Synergien bis zum gezielten Wissenstransfer und Dialog zwischen Forschung und Wirtschaft. In der Übersetzung für das DLR definiert sich Wissenschaftskommunikation noch etwas differenzierter: Es geht für uns darum, die wissenschaftliche Exzellenz, die gesellschaftliche, wirtschaftliche und internationale Relevanz sowie die Interdisziplinarität der Forschungsthemen und die Innovationsfähigkeit des DLR zu transportieren. Zugleich erfüllen wir durch die allgemeinverständliche Darstellung unserer Aktivitäten die Informationspflicht gegenüber der Bevölkerung, indem wir den Steuerzahler über die Verwendung der eingesetzten öffentlichen Mittel informieren.

Auch das hört sich zunächst einfach an. Im täglichen Umgang mit 33 exzellenten DLR-Instituten und -Einrichtungen sowie tausenden wissenschaftlichen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern, die alle an hochaktuellen und spannenden Forschungsthemen arbeiten, ist die Auswahl dessen, was nach außen kommuniziert wird, wann und in welcher Form, dann doch häufig etwas komplizierter. Denn so vielfältig die Themen, so zahlreich sind auch die Möglichkeiten und Kanäle der Kommunikation, dank verschiedener Internet- und Multimediaformate und zahlreicher Print- sowie elektronischer Medienformen.

Wie so häufig im Leben müssen wir uns entscheiden. Doch welche Kriterien legen wir dafür an? Zum einen geht es stets um die gesellschaftliche Relevanz eines Themas. Zum anderen geht es um Aktualität und natürlich auch immer um Attraktivität. Und zu guter Letzt ist es ein großes Stück Erfahrung im Umgang mit öffentlicher Wahrnehmung und der Aufnahme eines Themas durch die Medien, die uns entscheiden lässt, welcher Inhalt ein Topthema sein könnte, sowohl in unseren eigenen Formaten als auch in der öffentlichen Medienwelt.

Unsere Medienanalyse der vergangenen Monate zeigt, dass wir mit unserer Arbeit und den getroffenen Entscheidungen durchaus richtig lagen. Immerhin steht eine Reichweite nur im Printbereich von jährlich 1,2 Milliarden potenziellen Lesern zu Buche, eine beachtliche Zahl, wie ich finde. Noch nicht einbezogen ist die Reichweite unseres Webportals, das sich mit derzeit durchschnittlich 1,5 Millionen Seitenaufrufen und einer halben Million Besucher pro Monat wachsender Beliebtheit erfreut.

Auch im vorliegenden Heft mussten wir eine Auswahl treffen. Wir haben uns für eine Mischung aus Roboterforschung, Verkehrsmanagement, neuen Werkstoffen, Einsatz von Laserlicht, Nachwuchsförderung und Flugzeugflügeln der Zukunft entschieden. Dieses Kaleidoskop unterschiedlichster Themen begegnet uns jeden Tag und es macht jeden Tag im DLR einzigartig – genauso wie das vorliegende Magazin.

Sabine Göge
Leiterin DLR-Kommunikation

DLR magazin130



16

Das Robomobil: wendig, leicht und selbstständig

Auf dem Mond hat es schon funktioniert, für den Mars ist es geplant. Der Fahrzeugantrieb ist im Rad integriert. Was im All klappt, sollte auch auf der Erde möglich sein, dachten sich die Robotiker vom DLR und führten das Wissen aus robotischen Weltraum-Missionen und irdischen Roboterarmen zusammen. Das Ergebnis: Ein zweisitziges Robomobil, das im Krabbengang aus der Parklücke fährt und zukünftig vielleicht im innerstädtischen Verkehr gute Dienste leisten könnte, unter Umständen sogar ganz selbstständig ...

Titelbild:
Die Oberfläche der Erde mal anders gesehen: Das Radarbild von TerraSAR-X und TanDEM-X zeigt die Landschaft um den sibirischen Fluss Taz

Editorial	3
EinBlick	4
Leitartikel	6
Meldungen	8



Gegen die Schwingung
Schnelle und präzise Robotersysteme 12

Im Krabbengang aus der Parklücke
Fahren mit Robotertechnik 16

Alles im Fluss
Verkehrsmanagement in Kleinstädten 20



Mit dem Zug von Paris nach Wien?
Effekte von Hochgeschwindigkeitszügen 22



Der Flügel denkt mit
In der Form variable Flugzeugstrukturen 26

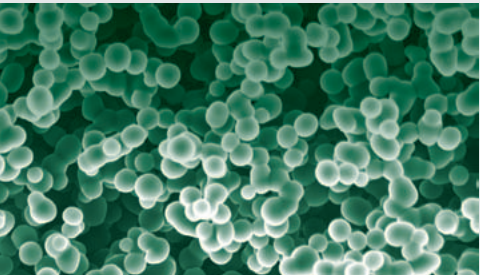
Leichtbau zum Abheben
Container aus Verbundwerkstoffen 30

Kommentar 32

Maßgeschneiderte Energie-Lösung
Im DLR Köln wird die TEG Line eröffnet 34



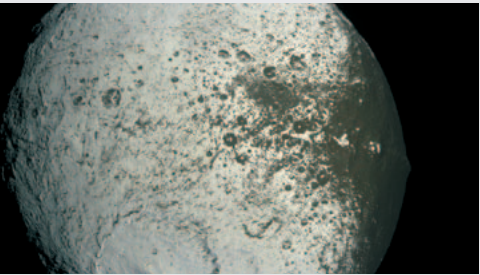
Flammen im Laserlicht
Forschen an alternativen Treibstoffen 36



Geheimnisvolles Multitalent
Die Vielfalt von Aerogelen 40

Regionales 44

Mehr Licht im Dunkel
Bei den Marsmonden Phobos und Deimos 46



Zwei Gesichter
Der Saturnmond Iapetus ist außergewöhnlich 50

„Es fliegt, tatsächlich!“
REXUS brachte Studentensexperimente ins All 54

Streifen um Streifen, Stück für Stück
Satellitenduo vermisst die Erde 56

Nicht ohne Risiko
DLR-Ausstellung zum Gagarin-Jubiläum 60

In Museen gesehen
Einfach gigantisch: Das Smithsonian 62

Rezensionen 66

EinBlick

Hier ist Beruhigung angesagt!

Was wie ein Windkanal aussieht, ist in Wahrheit der Beruhigungsraum eines Luftsaugers. Triebwerksforschern dient der 16 Meter lange und im Durchmesser acht Meter große Raum dazu, die Luft, bevor sie in den Verdichter eingeleitet wird, von Verwirbelungen zu befreien. Damit stellen sie optimale und für die einzelnen Versuche vergleichbare Bedingungen sicher.

Gebläse und Verdichter haben entscheidenden Einfluss auf die Leistungsstärke von Triebwerken und deren Lärmemission. Sie sind deshalb Gegenstand der Forschung im DLR-Institut für Antriebstechnik. Die Wissenschaftler arbeiten an neuen Bauformen für Verdichter und überprüfen ihre Auslegungsmethoden an Prototypen. Unverzichtbar dafür: der Mehrwellenverdichterprüfstand M2PV im DLR Köln, der hier für einen Versuch vorbereitet wird.

Grenzüberschreitend handeln

Von Prof. Dr.-Ing. Johann-Dietrich Wörner

In den Fünfziger- und Sechzigerjahren des letzten Jahrhunderts prägte der Kalte Krieg die internationalen Beziehungen, insbesondere zwischen Ost und West. Doch trotz des damit verbundenen Wettlaufs ins All kam es zu beispielhaften Kooperationen, die einen ersten Höhepunkt im Jahr 1975 durch die Kopplung des amerikanischen Raumschiffs Apollo und der sowjetischen Raumkapsel Sojus hatten. Seitdem ist in praktisch allen Bereichen die Kooperation weiterentwickelt worden, vor allem in der Forschung.

Sind internationale Kooperationen nur der verkrampfte Versuch, die politischen Fakten der existierenden Nationalstaatlichkeiten und Interessen zu verschleiern?

Eine Analyse der Situation und daraus zu ziehender Konsequenzen zeigt die Potenziale internationaler Kooperation. Natürlich werden auf absehbare Zeit Nationalstaaten selbst innerhalb Europas weiter existieren und eigene Interessen verfolgen. Dadurch wird es nach wie vor Wettbewerb vor allem im industriellen Bereich geben. Die jeweilige Position in diesem Wettbewerb ist zweifellos von den entsprechenden Erfolgen in der Forschung abhängig. Aus dieser ersten Betrachtung könnte man der Idee verfallen, auch Forschung im Wesentlichen abzuschotten, um die Vorteile gezielt auszunutzen und nicht teilen zu müssen. Auch wenn die Hoffnung auf eine weitere Entwicklung des politischen Systems, speziell in Europa, zu mehr grenzüberschreitender Zusammenarbeit nicht gleich morgen umgesetzt werden wird, so ist doch schon heute klar, dass es sehr sinnvoll ist, in der Forschung international zu kooperieren. Daraus erwachsen zwei Fragen. Erstens: Haben wir eine globale Verantwortung und sollten daher Forschung nicht mehr als nationale oder gar regionale Hoheit verstehen? Zweitens: Kann die Forschung durch internationale Kooperation massiv vorangetrieben werden?

Der zweite Aspekt gründet sich auf zwei Überlegungen: Für eine Reihe von Problemen sind Forschungsinfrastrukturen sehr großen Umfangs erforderlich, die nationale Möglichkeiten übersteigen und durch grenzüberschreitende Zusammenarbeit effizienter genutzt werden können. Erfolgreiche Beispiele sind die Europäische Weltraumorganisation ESA, die Europäische Organisation für Kernforschung CERN, der Europäische Transonische Windkanal ETW und die Internationale Raumstation ISS. Außerdem hat sich immer wieder gezeigt, dass gerade auch das Zusammenführen von Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern aus unterschiedlichen Ländern geeignet ist, um ganz besondere Forschungsarbeiten voranzubringen. Der Forscher in der Einsamkeit ist für die meisten Bereiche unserer hochtechnisierten, hochspezialisierten Welt kein Erfolgsmodell. Vielmehr gilt es, Teams zusammenzuführen, um neue Horizonte zu erreichen.

Neben der internationalen Komponente ist dabei auch der multidisziplinäre Ansatz von Bedeutung. Nach wie vor ist Exzellenz in den einzelnen Wissenschaftsdisziplinen ein wichtiger Faktor und Grundvoraussetzung für erfolgreiche Forschung. Es hat sich aber in den letzten Jahrzehnten gezeigt, dass in zunehmendem Maße die Arbeit auch an den Grenzen der jeweiligen Disziplinen besonders spannend ist. Da die mittlerweile erhebliche Breite in allen Wissenschaften den Universalgelehrten unmöglich macht, ist es ein Gebot modernen Wissenschaftsmanagements, die Disziplinen in Verbindung zu bringen und auch in den nationalen Forschungsstrategien Schwerpunkte zu setzen. Internationale Kooperation birgt hier ein erhebliches Potenzial!

Diese allgemeinen Aussagen betreffen das DLR in gleicher Weise: Durch die Zusammenarbeit der verschiedenen Bereiche innerhalb des DLR, aber insbesondere auch durch Kooperation auf internationaler Ebene können wir unsere Arbeit effektiv und weiterhin erfolgreich gestalten. ●



Prof. Dr.-Ing. Johann-Dietrich Wörner,
Vorstandsvorsitzender des DLR

www.DLR.de/blogs/janwoerner

**Grenzüberschreitendes Forschen
in diesem Heft:**

**Die fliegende Sternwarte SOFIA von
NASA und DLR: Bild links und Seite 8**

Leisere Hubschrauber: Seite 9

**Überlebenskünstler aus dem Weltraum:
Seite 9**

**Algerien-Kooperation in der Raumfahrt:
Seite 10**

**DLR-Technik unter australischer Sonne:
Seite 11**

**Mit dem Zug von Paris nach Wien:
Seite 22**

**Licht ins Dunkle der Mars-Trabanten:
Seite 46**

**Zwei Gesichter des Saturnmondes
Iapetus: Seite 50**

**Mit REXUS-Studentenexperimenten
in Schweden: Seite 54**

**TerraSAR-X und TanDEM-X vermessen
die Erde: Seite 56**

Meldungen



Das Stratosphären-Observatorium für Infrarot-Astronomie SOFIA

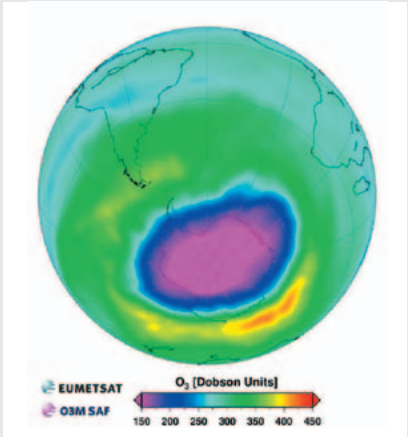
Dabei zeigten die allerersten Spektren mit GREAT das herausragende wissenschaftliche Potenzial der luftgestützten Fern-Infrarot-Spektroskopie. Die große Sammelfläche des Teleskops mit 2,7 Meter Durchmesser, gepaart mit dem enormen Fortschritt der Terahertz-Technologien während der letzten Jahre, lässt GREAT Daten hundertfach schneller erfassen als in früheren Experimenten. Das Instrument GREAT wurde unter Leitung von Dr. Rolf Güsten vom Max-Planck-Institut für Radioastronomie und der Universität zu Köln entwickelt, in Zusammenarbeit mit dem Max-Planck-Institut für Sonnensystemforschung und dem DLR-Institut für Planetenforschung.

„Die deutsch-amerikanische Kooperation ist mit dem ersten Wissenschaftsflug eines deutschen Instruments an Bord von SOFIA nun auch von wissenschaftlicher Seite aufgenommen. Wir blicken dem kommenden Routinebetrieb des fliegenden Observatoriums sehr zuversichtlich entgegen“, sagte Alois Himmels, SOFIA-Projektmanager des DLR nach dem Erstflug.

Mehr zu SOFIA lesen Sie in der nächsten Ausgabe des DLR-Magazins im September 2011.

<http://www.DLR.de/sofia>

Atmosphärenforschung: Langfristig wird sich die Ozonschicht wieder stabilisieren



Die Südpolarregion Anfang Oktober 2010: Das Ozonloch überdeckt die Antarktis fast vollständig, doch neue Rechenmodelle machen Hoffnung

Die Ozonschicht wird Mitte des 21. Jahrhunderts wieder die gleiche Dicke haben wie zu Beginn der Achtzigerjahre. Das geht aus einem Bericht der World Meteorological Organization (WMO) hervor. In ihn gingen Ergebnisse von DLR-Wissenschaftlern zur Entwicklung der Ozonschicht in der Stratosphäre ein. Die Regulierung der Produktion und des Gebrauchs von fluor-, chlor- und bromhaltigen Substanzen, wie zum Beispiel FCKW, durch das Montreal-Protokoll von 1987 und nachfolgende internationale Vereinbarungen zeigt Wirkung, schätzen Experten ein.

Grundlage für die Vorhersagen sind Rechenmodelle, mit Hilfe derer physikalische, dynamische und chemische Prozesse in der Atmosphäre simuliert werden. Sie wurden unter anderem im DLR-Institut für Physik der Atmosphäre erstellt. Zur Untersuchung der Ozonschicht wurden Langzeitsimulationen durchgeführt, die beispielsweise im Jahr 1960 beginnen und bis in die Zukunft reichen. Dabei werden die Rechenergebnisse für die Vergangenheit mit Beobachtungsdaten verglichen, um die Qualität der Modellergebnisse zu bewerten. Zum Verständnis atmosphärischer Vorgänge tragen auch Daten des DLR-Instituts für Methodik der Fernerkundung bei: Die Wissenschaftler dieses Instituts stellen Ergebnisse satellitengestützter Messungen bereit. Diese Satellitendatenprodukte werden mit anderen, unabhängigen Daten verglichen, um eine möglichst hohe Genauigkeit zu erlangen.

<http://s.DLR.de/v8mj>

Fliegende Sternwarte SOFIA steuert den Routinebetrieb an

SOFIA, das Stratosphären-Observatorium für Infrarot-Astronomie der amerikanischen Weltraumbehörde NASA und des DLR ist auf dem Weg zum Routinebetrieb. Am 6. April 2011 hatten deutsche Wissenschaftler zum ersten Mal astronomische Beobachtungen von Bord des weltweit einzigen fliegenden Observatoriums durchgeführt.

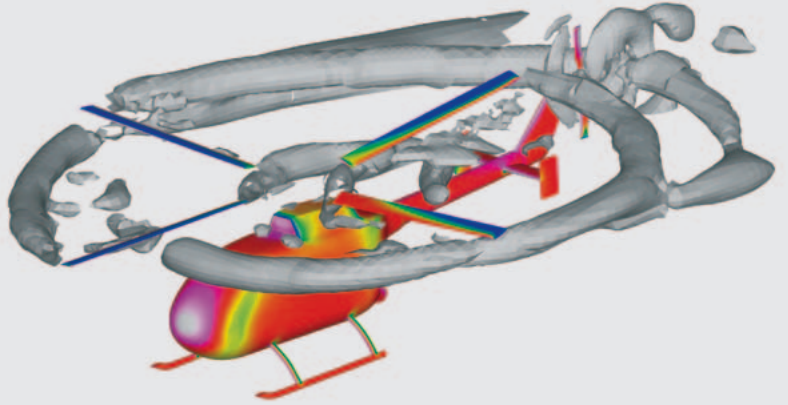
Mit dem deutschen Instrument GREAT (German Receiver for Astronomy at Terahertz Frequencies) waren spektroskopische Beobachtungen in Richtung von M17, einer Region mit verstärkter Sternentstehung in unserer Milchstraße, sowie der nur wenige Millionen Lichtjahre entfernten Galaxie IC342 durchgeführt worden. In Flughöhen von mehr als zehn Kilometern wird die Erdatmosphäre auch für die Fern-Infrarot-Strahlung aus dem Weltraum durchlässig. SOFIA macht so astronomisch wichtige Spektrallinien der Beobachtung zugänglich.

Leisere Hubschrauber: DLR und NASA forschen zusammen

Dass ein Hubschrauber senkrecht starten und landen kann, verdankt er seinem Rotor. Dieser ist allerdings auch für den Lärm im Flug verantwortlich. Wie genau dieser Rotorlärm entsteht, untersuchen Forscher des DLR zusammen mit Kollegen der US-amerikanischen Luft- und Raumfahrtbehörde NASA. Ziel der im DLR Göttingen laufenden Arbeiten ist es, künftige Hubschrauber leiser zu machen.

Die Göttinger Forscher bringen ihre Expertise zur optischen Messtechnik für Strömungen in die Kooperation ein. Die NASA-Forscher tragen mit neuester Messtechnik und Erfahrung aus Experimenten im größten Windkanal der Welt bei. Für ihre Untersuchungen verwenden die Wissenschaftler einen Prüfstand mit einem Rotormodell der RWTH Aachen. Mit sieben Hochgeschwindigkeitskameras, Laser und Hochleistungsleuchtdioden (LED) machen sie die Wirbel sichtbar. Das Besondere ist die gleichzeitige Verwendung von drei verschiedenen optischen Messtechniken. Dabei werden die Dichte und die Geschwindigkeitsfelder in den Wirbeln sowie die Verformung der Rotorblätter erfasst. Ähnlich wie in der Medizin gewährleisten so mehrere Untersuchungsmethoden, die richtige Diagnose zu stellen.

<http://s.DLR.de/zbij>



Computersimulation von Wirbeln: Auf der Oberseite von Hubschrauberrotoren bildet sich ein Unterdruck, der die Luft nach oben zieht. Diese dreht sich dabei zu einem Wirbel, dem sogenannten Blattspitzenwirbel, auf und wird dann nach unten gelenkt. Treffen die nachlaufenden Rotorblätter auf diese Wirbel, kommt es zu den typischen Knattergeräuschen von Hubschraubern.

Überlebenskünstler von der Internationalen Raumstation

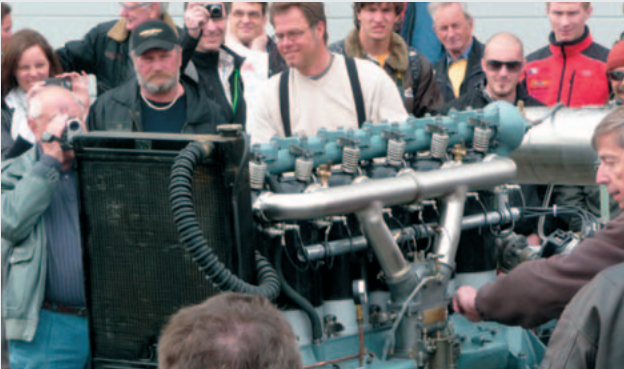
22 Monate haben Sporen von Bacillus subtilis im Versuchsträger „EXPOSE-R“ außen an der Internationalen Raumstation ISS verbracht. Zum ersten Mal während einer Langzeitmission wurden sie dabei – vermischt mit künstlichem Meteoritenstaub – den harschen Weltraumbedingungen ausgesetzt. Nun untersuchen die DLR-Wissenschaftler, wie viele Sporen den Einsatz im All überlebt haben. Hat der Meteoritenstaub die Sporen vor den lebensfeindlichen Weltraumbedingungen geschützt, könnten auch Mikroorganismen in Meteoriten längere Zeit überleben und so von einem Planeten zum nächsten gelangen.

Die knapp 300 Proben mit Mikroorganismen haben eine harte Zeit hinter sich: UV- und ionisierende Strahlung, Vakuum, Temperaturschwankungen von minus 20 bis plus 40 Grad Celsius in der EXPOSE-R-Anlage der Europäischen Weltraumorganisation ESA, Schwerelosigkeit und Verzicht auf jegliche Nährstoffe. Die Sporen entpuppten sich dabei als wahre Überlebenskünstler: In einer Art Ruhezustand warten sie ab, bis die Bedingungen wieder günstiger werden, keimen dann erneut aus und nehmen den Stoffwechsel wieder auf.

<http://s.DLR.de/96eo>



Versuchsträger „EXPOSE-R“ mit den Mikroorganismen an der Außenwand der ISS



Der Junkers L 5-Motor auf der AERO

Herz der Ju F 13 schlägt wieder

92 Jahre nach dem Erstflug einer Junkers F 13 brummte einer der damals verwendeten Motoren auf. Eine wichtige Hürde zum Wiederaufbau eines flugfähigen Exemplars dieser legendären Flugzeuge ist damit genommen. Der Verein der Freunde historischer Luftfahrzeuge (VFL), Mitinitiator des Wiederaufbaus einer fliegenden Junkers F 13, des weltweit ersten Ganzmetallverkehrsflugzeugs (das DLR-Magazin berichtete in seiner Ausgabe 129 vom März 2011 über das Vorhaben), konnte auf der diesjährigen Luftfahrtmesse AERO in Friedrichshafen einen wichtigen Meilenstein setzen: Es gelang zwei Motortechnikern, den original Junkers L 5-Flugmotor wieder zum Leben zu erwecken. Der Reihensechszylinder mit einem Hubraum von 22,9 Litern und einer Startleistung von rund 310 PS stammt aus einer Junkers F 13, die vor einigen Jahren im Jemen ausfindig gemacht worden war. Das Deutsche Technikmuseum Berlin erhielt die Reste dieses Flugzeugs, darunter den nur unvollständig erhaltenen L 5-Motor. Der VFL rekonstruierte das Aggregat in langmonatiger Kleinarbeit in einer schweizerischen Flugwerft. Nun begeisterte der satte Klang des Motors Medienvertreter und Messegäste. Der Erstflug der neu aufgebauten, weltweit einzigen fliegenden Junkers F 13 ist für Herbst 2014 geplant.

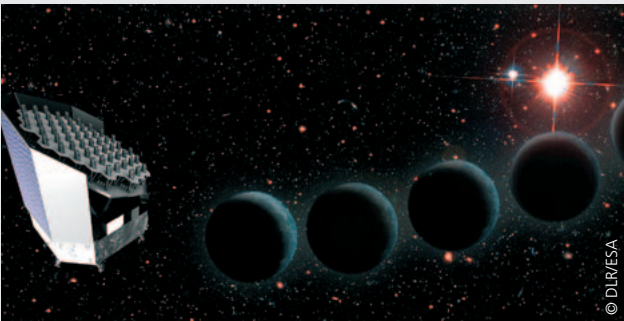
www.vfl-ev.de

Planetenfinder der nächsten Generation

Wie die Mission PLATO (PLANetary Transits and Oscillations of Stars) aussehen könnte, berieten 150 Wissenschaftler aus Europa und den USA auf einer Wissenschaftskonferenz des DLR und der TU Berlin. Mit der bei der Europäischen Weltraumorganisation ESA vorgeschlagenen Mission sollen Planeten in anderen Sternsystemen, sogenannte extrasolare Planeten, ausfindig gemacht und die dazugehörigen Sterne charakterisiert werden. Damit könnte PLATO ein Nachfolgeprojekt der erfolgreichen CoRoT-Mission werden, mit der der erste terrestrische Planet, eine sogenannte „Supererde“, mit genau bekanntem Radius entdeckt wurde.

Wissenschaftler des DLR-Instituts für Planetenforschung haben maßgeblich an der Ausarbeitung des Missionsvorschlags mitgewirkt. Die ESA entscheidet im Herbst 2011, ob die Mission im Rahmen des „Cosmic Visions“-Programms 2015-2025 durchgeführt werden soll.

<http://s.DLR.de/hw6p>



Die Raumsonde PLATO soll ab 2018 Exoplaneten im Transit vor ihrem Mutterstern entdecken und charakterisieren. Von der Mission werden große Durchbrüche erwartet, da das Vorhaben sich auf Gesteinsplaneten konzentrieren soll, die um hellere und besser charakterisierte Sterne kreisen.

Algerien-Kooperation unter anderem bei der Fernerkundung

Die algerische Raumfahrtagentur ASAL (Agence Spatiale Algérienne) und das DLR haben die künftige Zusammenarbeit in der Raumfahrtforschung beraten. Algerien, das öl-, gas- und sonnenreiche Land, kooperiert bereits in der Energieforschung mit dem DLR und hat seit einigen Jahren auch ein nationales Raumfahrtprogramm. Zwei Erdbeobachtungssatelliten sind bereits in Betrieb, weitere sind geplant.

Das Land, dessen Fläche sechs mal so groß ist wie die Deutschlands, will Kommunikation, Umweltschutz und Katastrophenvorsorge verbessern. Der Besuch der algerischen Delegation an den DLR-Standorten Bremen, Köln und Oberpfaffenhofen ergab konkrete Ansätze für eine Zusammenarbeit, zum Beispiel bei der Erprobung von Fernerkundungssensoren.



Thomas Reiter: nun bei der ESA für die Astronautenausbildung zuständig

Thomas Reiter nun ESA-Direktor für bemannte Raumfahrt

Thomas Reiter, die letzten vier Jahre Mitglied des DLR-Vorstands, ist zum Direktor für bemannte Raumfahrt der Europäischen Weltraumorganisation ESA berufen worden. Der Astronaut Reiter leitet damit einen ESA-Themenkomplex, für den Deutschland führend in Europa ist. Er ist unter anderem verantwortlich für die Astronautenausbildung und die Forschung in der Schwerelosigkeit sowie für den operationellen Betrieb von Raumfahrtinfrastruktur und die europäischen Satellitenmissionen.

Reiter ist damit einer von drei deutschen Direktoren in der ESA. Prof. Dr. Volker Liebig bleibt für vier weitere Jahre ESA-Direktor für die Erdbeobachtungsprogramme (Earth Observation Programmes, EOP). Zum Direktor des neuen ESA-Direktorats für „Human Resources, Facility Management and Informatics“ wurde der Kanzler der Universität Frankfurt, Hans-Georg Mockel, berufen.

<http://s.DLR.de/488f>



Australiens Wissenschaftsminister Senator Kim Carr (rechts) und DLR-Vorstandsmitglied Professor Ulrich Wagner

Technik aus dem DLR unter australischer Sonne

Auf dem Gebiet der konzentrierenden Solartechnik kooperiert das DLR nun auch mit dem Australian Solar Institute (ASI). Australiens Engagement für eine klimafreundliche Energieversorgung, eine sehr gute Forschungsinfrastruktur und die hervorragende solare Einstrahlung in dem Land seien gute Voraussetzungen, gemeinsam weiter an der Kostensenkung für Solarstrom zu arbeiten, kommentierte DLR-Vorstandsmitglied Professor Ulrich Wagner die Zusammenarbeit. Das DLR forscht seit mehr als 30 Jahren mit einem der größten Forscherteams weltweit auf dem Gebiet der konzentrierenden Solartechnik.

Die australische Regierung hat fünf Milliarden australische Dollar für Forschung, Entwicklung und Demonstration für CO₂-arme Energietechnologien bereitgestellt, unter anderem um das Australian Solar Institute zu gründen. Um die Ressourcen beider Länder möglichst effektiv einzusetzen, wollen die Partner gemeinsame Forschungsprojekte durchführen und ihre Einschätzungen bezüglich der Chancen und Risiken der Technologien und Märkte austauschen. Auch an den Austausch von Wissenschaftlern ist gedacht. Der erste konkrete Schritt der Zusammenarbeit ist der Aufbau eines im DLR entwickelten Reaktor-Systems zur solaren Umwandlung von Methan in Wasserstoff in der australischen Versuchsanlage im Solar Center der Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (CSIRO) in Newcastle. Damit soll unter anderem die Leistungsfähigkeit der technischen Systeme beider Länder direkt vor Ort verglichen werden.

<http://s.DLR.de/3b66>



VON WINZIG BIS GIGANTISCH
www.uploads.ungrounded.net/525000/525347_scale_of_universe_ng.swf
Die Welt zwischen ihren Elementarbausteinen und den Weiten des Universums: In der Tradition des schon historischen kosmischen Zooms „Powers of Ten“ (<http://apod.nasa.gov/apod/ap110201.html>) werden mit grafischen Mitteln die grundlegenden Zahlen und Fakten auf einer interaktiven Reise durch die Skalen des Universums in Szene gesetzt. Physik ganz anschaulich! (englisch)

IRDISCHE NATUR ERLEBEN
www.imescapes.org
Blicke aus ungewöhnlicher Perspektive auf das sich über uns rasch hinwegdrehende Firmament. Die Schönheit der Natur in Zeitraffer-Videos. Stimmungsvoll. (englisch)

RAUMFAHRT AUF RUSSISCH
www.federspace.ru/main.php?lang=en
Was geht ab in der russischen Raumfahrt? Die Internetseiten von Roscosmos informieren über Geschichte und Gegenwart der staatlichen russischen Weltraumforschung. Im Jubiläumsjahr von Juri Gagarins Erstflug eine interessante Informationsbörse. (russisch und englisch)

AUF TOUR GEHEN?
www.realitymaps.de
Die Bilder, Videos, Karten und Tourenplaner-Angebote im Webauftakt des Unternehmens 3d Reality Maps machen Lust auf mehr. (deutsch und englisch)

MODERNE SCHATZSUCHE
www.geocaching.de
Geocaching ist ein interessantes Outdoor-Spiel mit GPS-Navigation. Bei der modernen Schatzsuche sind „Caches“ versteckt und müssen per Anleitung gesucht werden. Das GPS-basierte Geländespiel über Stock und Stein und quer durch die City amüsiert.

Gegen die Schwingung

Montageaufgaben mit schnellen und präzisen Bewegungen ausführen – das ist die Aufgabe von Parallelrobotern. Sie bewegen nur geringe Massen und sind deutlich leichter als Industrieroboter. In der Schnelligkeit liegt jedoch das Problem. Denn kommt der Roboter mit bis zum Zehnfachen der Erdbeschleunigung erstmal in Fahrt und brems dann wieder ab, tritt ein einfaches Naturgesetz ein: Er schwingt. Und bis diese Schwingungen abgeklungen sind, vergeht wertvolle Zeit. Damit ist der Vorsprung, den er gegenüber seinen langsameren Kollegen hat, wieder dahin. Hier setzen Dr. Michael Rose, Ralf Keimer und Dr. Stephan Algermissen vom DLR-Institut für Faserverbundleichtbau und Adaptronik ein. Sie haben dafür gesorgt, dass der Roboter Triglide beides kann: schnell und präzise sein.

Das Geheimnis schneller und zugleich präziser Robotersysteme

Von Lena Fuhrmann

Bis der Parallelroboter fertiggestellt war und das Projekt im Juni 2010 erfolgreich abgeschlossen werden konnte, war es ein langer Weg – zehn Jahre Forschung und Entwicklung im Sonderforschungsbereich 562. Hinter dem Titel „Robotersysteme für Handhabung und Montage – Hochdynamische Parallelstrukturen mit adaptronischen Komponenten“ verbergen sich ein Team vom DLR und sieben Institute der Technischen Universität Braunschweig, 29 Promotionen, jede Menge Schweiß, Herzblut und Nachtschichten. Parallelroboter halten sich nicht immer an den Feierabend. Das Ergebnis kann sich sehen lassen: Triglide ist seinen Geschwistern, den Industrierobotern, bei Montagearbeiten um einiges voraus.

„Industrieroboter sind wie ein menschlicher Arm aufgebaut: Auf ein Gelenk folgt ein Stab und dann wieder ein Gelenk und noch ein Stab“, erklärt Ralf Keimer. „Ein Roboter braucht für jedes Gelenk, das sich bewegen kann, einen Antrieb. Wir brauchen also einen Motor, ein Getriebe, insgesamt viel Kupfer – und das ist schwer.“ Will man nur den „Unterarm“ des Roboters bewegen, muss auch das obere Gelenk mit. Das bedeutet zusätzliches Gewicht, das ebenfalls beschleunigt werden muss. Dafür braucht man mehr Kraft, also größere Motoren, die aber wieder mehr Masse besitzen. Ein Parallelroboter, der mehrere Arme parallel bewegt, aber nur an den „Schultern“ Antriebe benötigt, ist leichter und dadurch schneller.

„Wie ein Gummiband, das länger und dünner wird, wenn man es dehnt“

Doch mit der Schnelligkeit kam auch das Schwingen ins Spiel und damit die Arbeit des DLR. Die Lösung sind Stäbe aus Kohlefaserverbund, die sich ausdehnen können, und mit kleinen Platten, sogenannten Aktuatoren, aus Piezokeramik versehen sind. Zwar können sich die Stäbe nur um ein Tausendstel ihrer Baulänge ausdehnen, aber es reicht, um die ungewollte Schwingung wieder zu beruhigen. „Piezokeramik ist ein Werkstoff, der sich verformt, wenn man ihn unter Strom setzt“, erläutert Ralf Keimer, der die Stäbe entworfen hat. „Allerdings ändert sich das Volumen nicht, das heißt, er ‚wächst‘ in eine Richtung und wird an den Seiten kleiner. Ähnlich wie ein Gummiband, das ja auch länger und dünner wird, wenn man es dehnt.“ Die Richtung kann Ralf Keimer beeinflussen, indem er das elektrische Feld unterschiedlich ansetzt. Die Stäbe, die sich ohnehin schon im Parallelroboter befanden, wurden durch Stäbe mit piezokeramischen Aktuatoren ersetzt. Die Stäbe halten dann in der gleichen Frequenz wie jener der Schwingung des Triglide dagegen und heben die Schwingung damit nahezu auf. Eine vollständige Unterdrückung ist nicht möglich, die mathematischen Modelle können die Realität immer nur annähernd abbilden. Außerdem bleibt noch eine wenn auch geringe Reaktionszeit zurück. Ralf Keimer sorgte dafür, dass die Stäbe allen Anforderungen genügen, also genug Kraft haben, sich in der Länge genügend ändern und auch die Kräfte aushalten, die der Roboter sowieso tragen muss.

Der Parallelroboter Triglide darf für Präzisionsarbeit nicht schwingen. Wie man das verhindert, erforschen Braunschweiger DLR-Wissenschaftler gemeinsam mit Universitätskollegen.

Als Ralf Keimers Arbeit getan war, begann die von Dr. Stephan Algermisen erst. Er musste den Regler am Triglide so einstellen, dass der genau erkennt, wie er gegen die Schwingung halten muss. Keine leichte Aufgabe. Der Wissenschaftler verbrachte viele Stunden am Computer, testete den Parallelroboter in unterschiedlichen Positionen, da die Schwingung in jeder Position anders ist. Zusätzlich galt es herauszufinden, welche Schwingungen mit der Piezokeramik überhaupt anzuregen sind. Denn eine Störschwingung muss man auch selber erzeugen können, um ihr im zweiten Schritt entgegenzuwirken.

„Interessant sind vor allem die Stellen, bei denen starke Schwingungen auftreten“

Die Schwingung misst ein Beschleunigungssensor im oberen Teil des Triglides, Algermisen schickte den Roboter zu verschiedenen Punkten und sendete Testsignale mit Frequenzen von null bis 120 Hertz an die drei Aktuatoren. Als Aktuatoren werden jeweils zwei parallel verlaufende Stäbe des Triglides bezeichnet. „Der Sensor zeigt mir dann, auf welche Frequenz der Roboter gut reagiert“, erklärt Stephan Algermisen. „Interessant sind vor allem die Stellen, bei denen starke Schwingungen auftreten. Die müssen wir dann in der Regelung dämpfen. Das hat mit der Eigenfrequenz zu tun, die jede Struktur hat – an diesem Punkt schwingt sie besonders gut.“ Das ist bei einem Roboter allerdings nicht so einfach wie bei einem Sprungbrett – je nach Position im Raum kann er sowohl bei einer niedrigeren Hertzzahl als auch an anderer Stelle anfangen zu schwingen. Aus den Messungen entsteht ein komplexes mathematisches Modell, das die Schwingungen des Roboters an bestimmten Punkten beinhaltet. Mit diesen Informationen wird der Regler „gefüttert“, der Roboter schwingt in einer Position und übermittelt das Signal an den Regler, der wiederum eine Gegenbewegung einleitet. Insgesamt tausendmal pro Sekunde wird der Regler berechnet.

Dr. Michael Rose hat dem Triglide beigebracht, auf einer vorgeschriebenen Bahn exakt von einer Position in eine andere zu wechseln. Er hat berechnet, welche Kräfte dafür nötig sind. Da die Roboterstruktur mit ihren verschiedenen Komponenten eine gewisse Masse besitzt, kommt die Massenträgheit ins Spiel. Mit einer bestimmten Kraft ist der Triglide dann in Bewegung zu setzen. „Der Parallelroboter kann die vorgegebene Bahn auch bei einer höheren Beschleunigung noch nahezu genau abfahren – das ist bei zehn g Beschleunigung ein wichtiger Punkt. Ich habe die Motorregelung mit den nötigen Informationen versehen. Als mich ein Kollege anrief und mir berichtete, dass dank meines Modells die Bahnabweichung um 90 Prozent reduziert werden konnte, war das ein schöner Erfolg“, erinnert sich Rose.

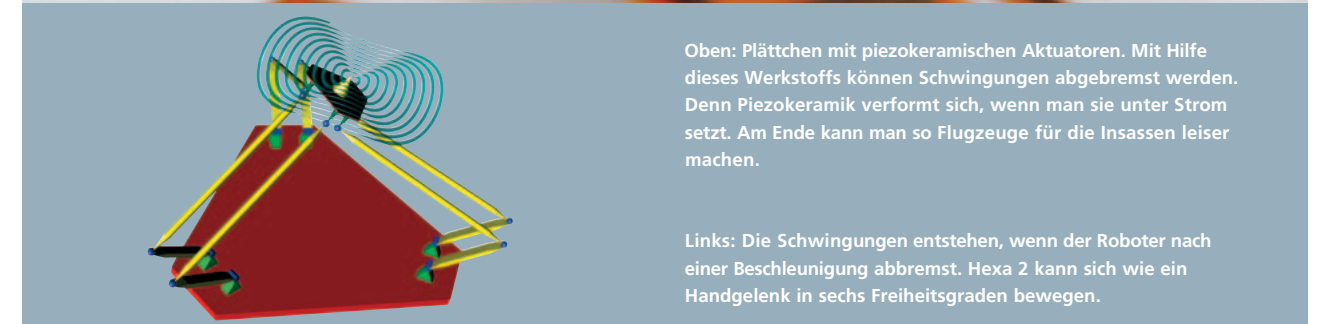
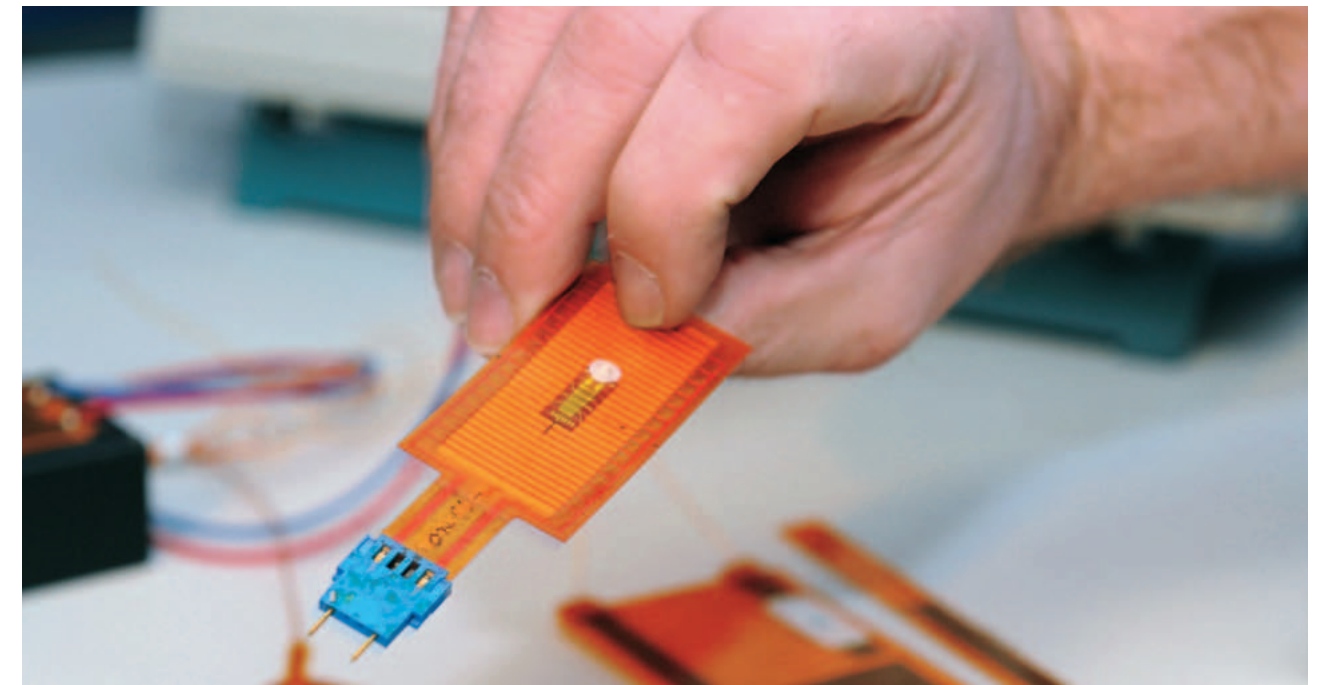
Eine Kooperation mit der Technischen Universität Braunschweig lag auf der Hand: Die Kompetenzen beider Partner flossen zusammen. Das DLR besaß mit seinen Forschungen zur Adaptronik damals europaweit ein Alleinstellungsmerkmal. Das Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik (IWF) der TU Braunschweig konnte gemeinsam mit Instituten aus den Bereichen Maschinenbau, Elektrotechnik und Informatik die Roboter bauen. Neben dem Triglide und vielen anderen Robotern für unterschiedliche Untersuchungen entstand noch der Parallelroboter Hexa 2, der mit sechs Motoren arbeitet. Auch dem wissenschaftlichen Nachwuchs die Möglichkeit zu geben, Diplom- und Doktorarbeiten anzufertigen, war für den Forschungsbereich ein wichtiger Aspekt.

Beim Start im Jahr 2000 war der Triglide noch in weiter Ferne, sechs Jahre später stand der Parallelroboter einsatzbereit im Institut der Universitätskollegen. Die Tests wurden „trocken“ am Rechner durchgeführt und hinterher auf den Roboter übertragen. Die Bilanz nach zehn Jahren Forschung ist ausgesprochen positiv: „Wir haben viel in der Grundlagenforschung gelernt und stetige Fortschritte erzielt“, sagt Stephan Algermisen. Einem Partner aus Frankreich konnten die Wissenschaftler bei einem Parallelroboter helfen, der Solarpanele montieren sollte. „Mein persönlicher Meilenstein war natürlich der Moment, als die Regelung funktionierte“, sagt Algermisen.

„Die Physik vergisst ihre Prinzipien nicht, der Ingenieur hingegen manchmal schon“

Funktioniert meine Rechnung auch im Praxistest? Und habe ich auch wirklich alles beachtet? Das sind die Fragen, die jeden Wissenschaftler vor den ersten realen Tests beschäftigen. „Denn“, schmunzelt Ralf Keimer, „die Physik vergisst ihre Prinzipien nicht, der Ingenieur hingegen manchmal schon.“ Die Bereiche, die die DLR-Wissenschaftler bearbeiten, sind Neuland und stehen in keinem Lehrbuch. Die Forscher sind selbst für die Definition ihrer Sicherheitsbereiche verantwortlich. Die Praxis hat ihnen inzwischen Recht gegeben, alles funktioniert, wie es sollte.

Jetzt, nachdem die Arbeit im Sonderforschungsbereich beendet ist, kann das gewonnene Wissen in weitere Projekte übertragen werden. Nicht nur bei den Parallelrobotern treten unerwünschte Schwingungen auf, auch andere Bereiche wie die Luftfahrt haben damit zu kämpfen. Die Strömung an der Außenhaut regt ein Flugzeug zu Schwingungen an. Der dadurch eintretende Lärm verbreitet sich bis in die Kabine und verursacht das Hintergrundrauschen, das jedem Reisenden bekannt ist. Die Aufgabe der Adaptroniker ist es jetzt, mit Hilfe der Schwingungsunterdrückung weniger Lärm in die Kabine gelangen zu lassen.



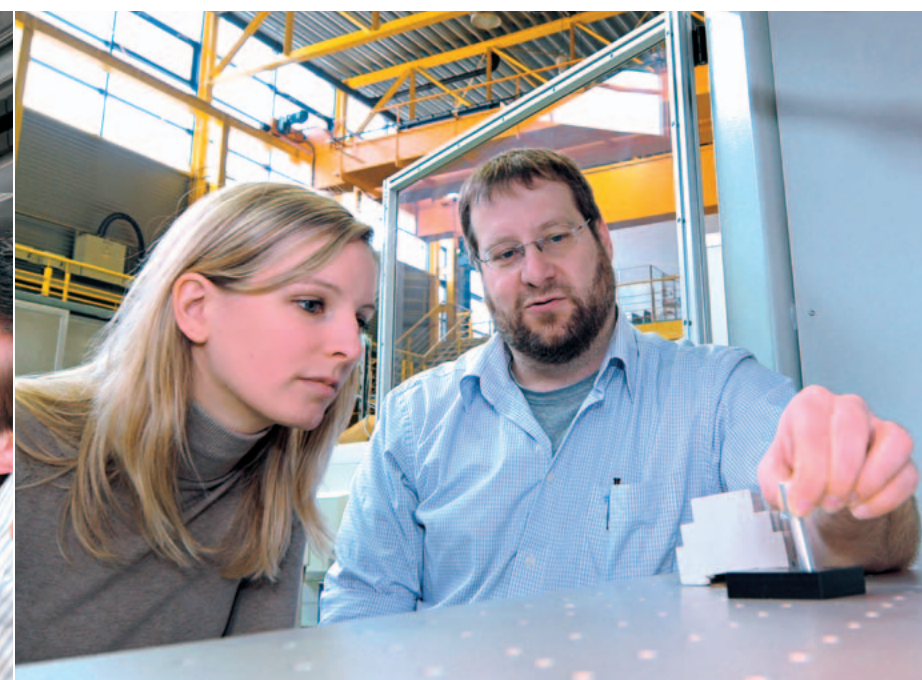
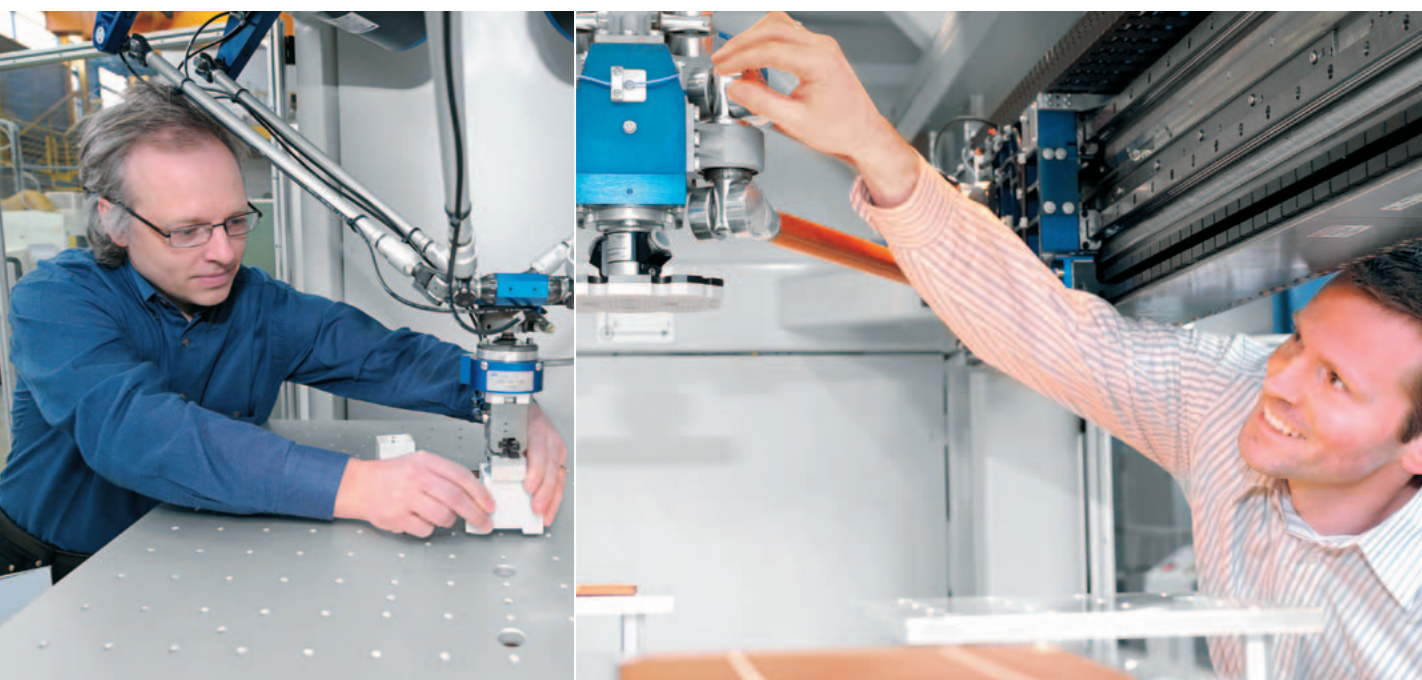
Oben: Plättchen mit piezokeramischen Aktuatoren. Mit Hilfe dieses Werkstoffs können Schwingungen abgebremst werden. Denn Piezokeramik verformt sich, wenn man sie unter Strom setzt. Am Ende kann man so Flugzeuge für die Insassen leiser machen.

Links: Die Schwingungen entstehen, wenn der Roboter nach einer Beschleunigung abbremst. Hexa 2 kann sich wie ein Handgelenk in sechs Freiheitsgraden bewegen.

Kleine Piezoplättchen werden hierzu innen ins Flugzeug geklebt. Das Prinzip ist das gleiche wie beim Parallelroboter: Die Schwingung wird gemessen und mit Gegenschwingungen unterdrückt. Hierfür haben die Wissenschaftler gemeinsam mit dem DLR-Institut für Aerodynamik und Strömungstechnik Versuche geplant. 2012/2013 soll die Do 728, das Flugzeug zur Kabinenforschung beim DLR in Göttingen, mit einer riesigen Lautsprecheranlage beschallt werden, die Triebwerkgeräusche imitiert. Für absolute Ruhe können die kleinen Plättchen allerdings nicht sorgen, aber sie sind einer von vielen Bausteinen, die den Lärm reduzieren sollen. ●

Weitere Informationen:

www.DLR.de/fa
www.tu-braunschweig.de/sfb562



Links: Dr. Michael Rose am Hexa 2 an der Technischen Universität Braunschweig. Hexa 2 kann bis zu fünf Meter pro Sekunde zurücklegen und drei Kilogramm Last tragen.

Mitte: Dr. Stephan Algermisen prüft eines der Gelenke des Parallelroboters Triglide

Rechts: Ralf Keimer erklärt DLR-Redakteurin Lena Fuhrmann eine Montageaufgabe des Parallelroboters Hexa 2: Der Roboter muss einen Stift aus Metall in ein Loch einpassen. Was für einen Menschen aufgrund seiner vielfältigen Sensorik kein Problem ist, muss einem Roboter erst beigebracht werden. Diese Aufgabe wurde unter anderem für Montageplanung und -überwachung untersucht.

Im „Krabbengang“ aus der Parklücke

Was sich an oder unter der weich geformten Schale des Robomobils verbirgt, hat in ähnlicher Form oftmals schon an anderer Stelle seine Leistungsfähigkeit unter Beweis gestellt: Einen in die Räder integrierten Antrieb hatten nicht nur die drei Mondautos, mit denen die Apollo-Astronauten über den Erdtrabanten fuhren – auch der Marsrover, der 2018 zum Mars fliegen soll, vertraut auf dieses Radkonzept. Die Steuerung mit dem Sidestick, einer Art Joystick, gab es ebenfalls schon in den Mondautos. Die Kameras, die vom Dach des Robomobils auf die Straße blicken, helfen bereits Roboter Justin beim Bällefangen. Auch was die Robotiker im DLR Oberpfaffenhofen an den modernen Roboterarmen gelernt haben, fließt in das zweisitzige Elektromobil ein. Die Kunst an der Sache: aus den vielen unterschiedlichen Erfahrungen Neues entstehen zu lassen.

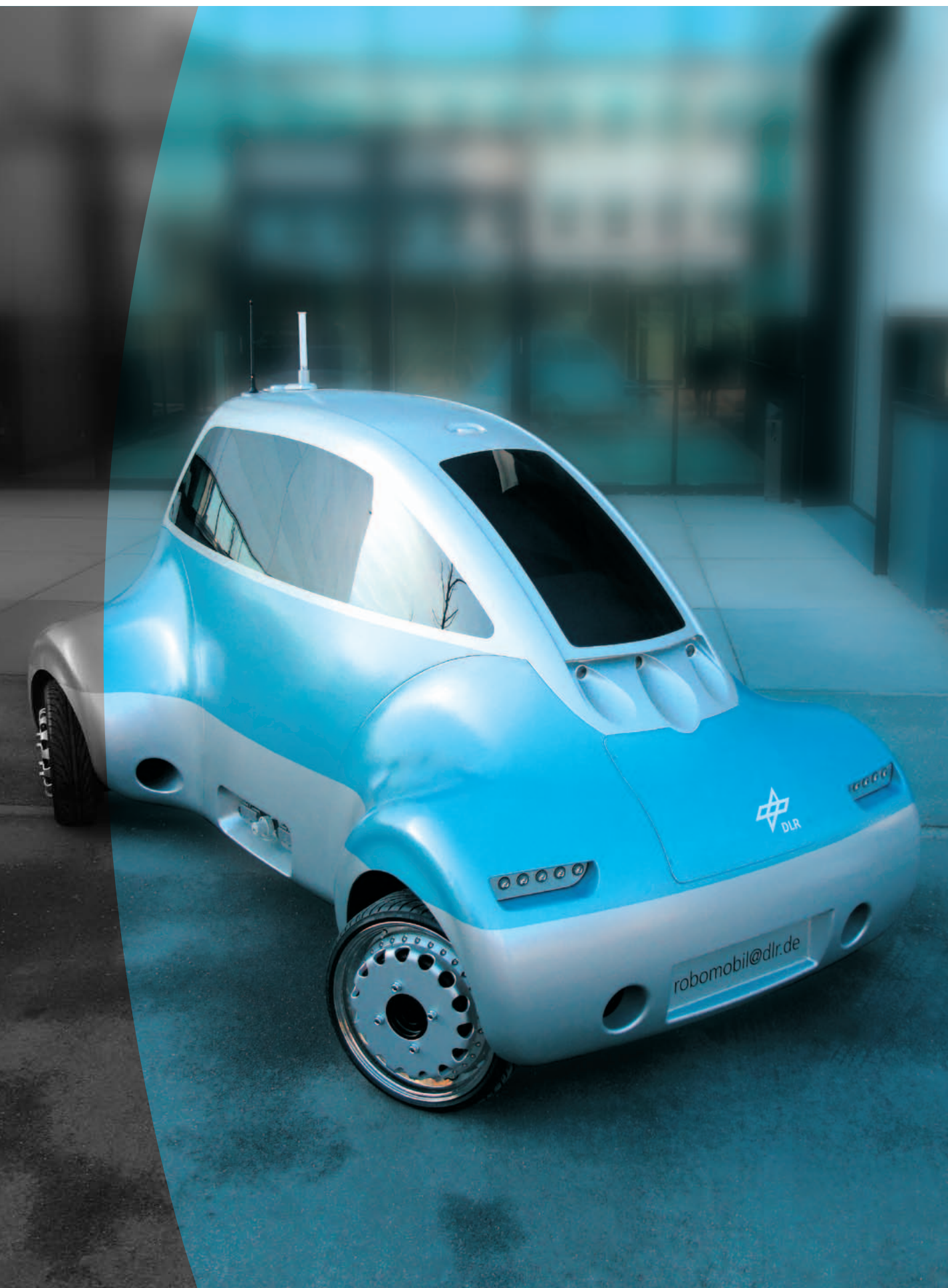
Fahren mit Robotertechnik

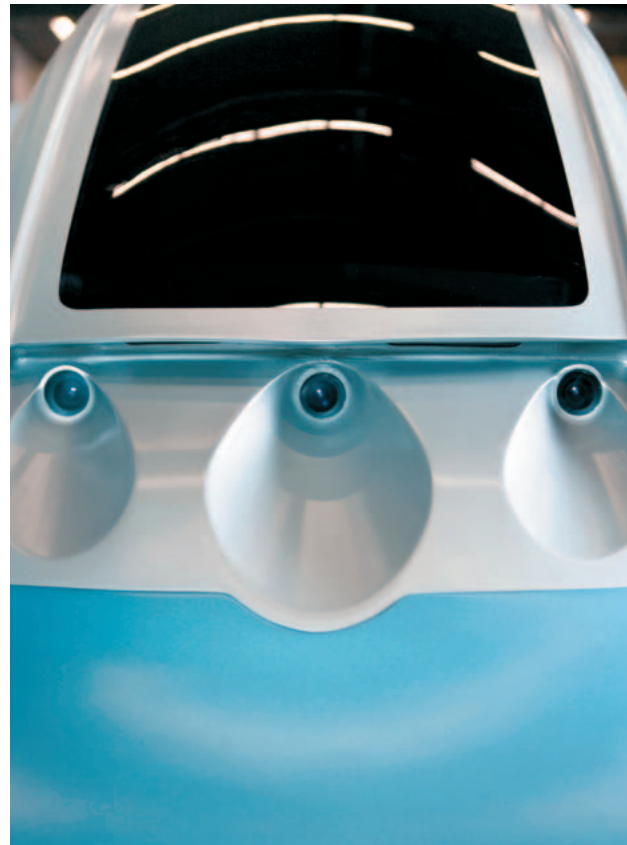
Von Manuela Braun

Ein Mausklick und schon drehen sich die Räder des Fahrzeugs langsam ferngesteuert nach außen. Clemens Satzger und Neal Lii vom DLR-Institut für Robotik und Mechatronik sitzen vor ihrem Computerbildschirm und testen die Funktionen des Robomobils. Fast wie ein Spielzeugauto sieht das blau lackierte Fahrzeug auf der Hebebühne in der ansonsten technisch-nüchternen Techlab-Halle aus. Weiche Formen, Stadtwagen-Format, fast schon filigran. Allerdings ist an diesem Auto nichts, wie es sein sollte: Pedale – Fehlanzeige. Lenkrad – Fehlanzeige. Motor unter der Haube – Fehlanzeige. „Pedale, Lenkrad, Lenksäule, das ist alles historisch bedingt“, erzählt Jonathan Brembeck und winkt ab. Der Wissenschaftler des Instituts für Robotik und Mechatronik ist Projektleiter für das Auto, bei dem Robotik und Elektromobilität miteinander vereint werden. Und das funktioniert nun einmal anders als die herkömmlichen Fahrzeuge. Lenkung, Antrieb und Bremse stecken alle in jedem der vier Räder, die Befehle werden nicht mechanisch von Pedalen oder Lenkrad übertragen, sondern von einem Zentralcomputer. „Pedale und Lenksäule sind bei Unfällen immer große Gefahrenfaktoren.“ Im Auto selbst sieht es deshalb auch recht leer aus. Außer einem Sidestick, wie man ihn als Joystick auch von Computerspielen kennt, und einigen Touchscreens im Cockpit, ist nichts zu sehen. Unter dem Chassis sitzt ein Akku, der später einmal problemlos gegen frische Akkus an Tankstellen ausgewechselt werden könnte.

Die „Radroboter“ des Robomobils stehen mittlerweile in einem Winkel von 90 Grad zur Karosserie. Stünde das Auto nicht auf der Hebebühne, sondern auf dem Boden, könnte es jetzt wie eine Krabbe quer zur eigentlichen Fahrtrichtung zur Seite ausscheren. Im Fahrsimulator lässt sich testen, wie sich das anfühlt. Die rechte Hand am Joystick, die Augen auf die Displays gerichtet, geht es im Krabbengang nach links aus der engen Parklücke. Anfangs steuert es sich noch ungewohnt. „Man

Wendig, leicht und – in Zukunft – auch ganz schön selbstständig: das Robomobil, kurz ROMO genannt





Motor, Lenkrad und Pedale in ihrer alten Form haben im Robomobil ausgedient. Kameras behalten beim Fahren die Umgebung im Blick.

gewöhnt sich eigentlich sehr schnell daran, mit einem Joystick zu lenken“, sagt Brembeck. „Aber zur Not könnte man auch wieder ein Lenkrad installieren, das dann natürlich keine Lenksäule für die Übertragung auf die Achse benötigt.“ Auf dem Bildschirm hat sich das Robomobil mittlerweile auf die Straße bewegt. Ein Autofahrer in einem normalen Pkw würde jetzt sehr wahrscheinlich durch den beschränkten Radius der Räder immer noch vor- und zurückrangieren. Ein letztes Mal zucken noch die Beine und suchen vergeblich das Gaspedal, dann fährt das virtuelle Robomobil des Simulators los. Beschleunigen, bremsen, lenken, alles geht flüssig. Der nächste Test: Einmal auf der Stelle um die eigene Achse rotieren. Auch das gelingt. „Das Robomobil hat eine enorme Beweglichkeit“, betont Brembeck. Für den Stadtverkehr wäre diese Flexibilität ein großer Vorteil.

Bei der Konstruktion des blauen Elektromobils haben die Robotiker sich kräftig bei der eigenen Wissenschaft bedient: „Das Prinzip, dass bei Robotern alles Wichtige im Gelenk sitzt, haben wir für die Räder verwendet.“ Brembeck zeigt auf die Reifen des Fahrzeugs. Der Radnabenmotor und der integrierte Lenkantrieb verwirklichen das bewährte Prinzip für Roboter am Auto. Zum Einsatz kam es auch bereits bei den Apollo-Mondautos und bei der Entwicklung des ersten europäischen Marsrover Exomars, der ab 2018 den Mars erkunden soll. In der Front und im Heck des Robomobils sind jeweils drei Kameras angebracht. Demnächst wird das Fahrzeug zusätzliche Kameras auf dem Dach erhalten, die auch an den Fahrzeugseiten auf die Straße blicken und einen 360-Grad-Stereo-Rundumblick ermöglichen. Bisher verwendet Roboter Justin das System, um einen geworfenen Ball in der Luft zu verfolgen und diesen dann blitzschnell zu fangen. Das Robomobil soll mit seinen Kameras ähnliches kön-

nen – nämlich die Umgebung besser abschätzen. Damit wollen die Robotiker ein weiteres Ziel erreichen, was ihnen an anderer Stelle bereits gelungen ist. Wenn man von der Erde aus einen Roboterarm wie ROKVISS im Weltall steuern kann, geht das auch mit einem Fahrzeug auf der Erde. Die sogenannte Telepräsenz haben die Wissenschaftler erprobt und wollen sie auch auf ihr Elektromobil übertragen.

Der Mensch denkt, das Fahrzeug lenkt

Die Vision der Robotiker: Ein Fahrzeug, das dem Fahrer vieles abnimmt. Oder anders gesagt: „Wir wollen dem Fahrer zu seinem Schutz Rechte entziehen“, erklärt Brembeck. Zum Beispiel das Recht, nicht optimal zu fahren. „Der Fahrer gibt mit seiner Steuerung Befehle an den Computer – aber dieser optimiert sie zunächst, bevor sie ausgeführt werden. Das heißt, der Mensch gibt die Richtung vor und die Maschine übernimmt zum Beispiel die Spurregelung.“ Dazu verwendet das Fahrzeug die Informationen, die ihm das Kamerasystem liefert. Wie viele Rechte dem Fahrer entzogen werden, variiert. Zum einen kann der Fahrer im Fahrzeug seinen Wunsch mit dem Joystick vorgeben und wie in der Weltraumrobotik wird dieser Wunsch verfeinert, nachdem das Robomobil die Umgebung in Echtzeit dreidimensional erfasst hat. Zum anderen könnte er aber auch außerhalb des Fahrzeugs in einer Teleoperator-Station sitzen und von dort aus über Fernsteuerung dem Robomobil die Richtung vorgeben. Dieses setzt dann die Befehle in Abhängigkeit von seiner Umgebung um. Die größte Vision erlaubt dem Fahrzeug dann auch die größtmögliche Autonomie: „Dabei gibt der Fahrer das Ziel vor, der Computer berechnet dann, wohin man sich bewegt und ob sich bereits andere Objekte auf das Fahrzeug zubewegen.“

Auch wenn das noch Zukunftsmusik ist, Institutsleiter Prof. Gerd Hirzinger hat schon genaue Vorstellungen, wie das Robomobil zum Einsatz kommen könnte. Die wendigen Elektromobile könnten in den Großstädten in Hallen geparkt und von dort per Anruf zu einem Ort bestellt werden. Das Robomobil macht sich dann selbstständig – und ohne Fahrer – in einer moderaten, angepassten Geschwindigkeit auf den Weg zu seinem Besteller. Dort steigt der Fahrer ein, nutzt das Robomobil beispielsweise für seine Einkäufe, fährt wieder nach Hause und gibt dem Fahrzeug den Befehl, alleine zur Halle zurückzufahren. Sollte der Rückweg zum heimischen Depot schiefgehen, könnte immerhin noch ein Depotverwalter das Robomobil per Fernsteuerung sicher in die Halle zurücksteuern.

Wie das Fahrzeug in der Zukunft aussehen wird, ist offen. „Die Fahrerkabine ist zum Beispiel komplett austauschbar“, erläutert Brembeck. Das Robomobil ist kein kompaktes Auto, sondern besteht aus verschiedenen Modulen. Welcher Akku mit welchem Chassis auf die Achsen mit den Roboter-Rädern befördert wird, kann wie in einem Baukastensystem ausgewählt werden. „Das Chassis ist allerdings aus kohlenstofffaserverstärktem Kunststoff (CFK; Carbon-faserverstärkter Kunststoff) und somit extrem leicht“, betont Jonathan Brembeck. Das Material wird in der zivilen Luftfahrt verwendet und sorgt beim Robomobil dafür, dass die Fahrzeugmasse möglichst gering ist. Die ersten vorsichtigen Fahrttests in einer Lagerhalle hat das Robomobil bereits bestanden. Immerhin 100 Kilometer soll die Reichweite mit einer Lithium-Ionen-Batterie betragen – ausreichend für die ersten Versuche. Die Technik, die bei den Rovern für die Erkundung von Planeten ihren Anfang genommen hat, funktioniert auch ganz bodenständig auf der Erde.

In der Halle des Techlabs nickt Clemens Satzger zufrieden. Alle Systeme des Robomobils reagieren wie gewünscht. Die Reifen drehen sich gerade wieder in ihre Ausgangsposition zurück. Zurzeit sind es vor allem Tests, die durchgeführt werden. „Wir wollen sichergehen, dass alle Funktionen reibungslos ablaufen“, erklärt Satzger. Dafür steht das Elektromobil zunächst einmal viel auf der Hebebühne. Regelungstechnik, Bildverarbeitung, Mensch-Maschine-Schnittstelle, Telepräsenz. Das Projekt ist Teamarbeit und verbindet ganz unterschiedliche Bereiche der Robotik. Das Haushalten mit der vorhandenen Energie, die Zuverlässigkeit aller Systeme, das autonome Fahren oder das Zusammenwirken der Bremsen sind Themen, die nicht ein Experte alleine bearbeiten könnte. „Das Robomobil ist ein typisches Querschnittsthema“, sagt Jonathan Brembeck. „Für uns Robotiker ist es ein Forschungsträger.“ ●

Weitere Informationen:
www.DLR.de/RM

Antrieb und Bremse stecken im Rad. Das Elektromobil nutzt Techniken aus der Robotik. Die Radroboter können einen Winkel von 90 Grad einnehmen und im Krabbgang seitlich fahren.



Alles im Fluss

Was unterscheidet das Verkehrsmanagement in Klein- und Großstädten? Viele Großstädte verfügen über Verkehrsmanagementzentralen. Das hohe Verkehrsaufkommen rechtfertigt den Aufwand für Installation, Betrieb und Instandhaltung teurer Verkehrserfassung mit Induktionsschleifen und für dynamische Verkehrsanzeigetafeln. In mittelgroßen und kleinen Städten ist die Verkehrsbelastung geringer. Doch auch hier kann der Verkehr stocken: zu Stoßzeiten, im Fall von Baustellen, Unfällen oder Umleitungen. Das kann besonders in Ortschaften nahe einer Autobahn das Verkehrsaufkommen plötzlich enorm erhöhen. Für Bewohner kleiner Städte spielen geringe Lärm- und Umweltbelastungen als Merkmal der Lebensqualität eine große Rolle. Oft wohnen sie genau deshalb eben nicht in der Großstadt. Die wenigen Hauptstrecken müssen gut funktionieren, damit nicht der Schleichweg durchs Wohngebiet die Regel wird. Doch für klassisches Verkehrsmanagement fehlen den kleinen Kommunen meist die Mittel. Welchen Ausweg es aus dieser Situation gibt, erfragte Birgit Pattberg im DLR-Institut für Verkehrssystemtechnik, wo sie öffentlichkeitswirksame Aktivitäten betreut.

Mobilgeräte helfen beim Verkehrsmanagement in Kleinstädten

Interview mit Ronald Nippold

Gibt es neue Technologien, mit denen auch kleine Städte ihre Verkehrslage erfassen können?

Bisher ist die unter dem Asphalt verlegte Induktionsschleife das Mittel der Wahl, um die Verkehrslage insbesondere vor Ampeln zu erfassen. Doch heutzutage ist es möglich, zur Erhebung von Verkehrsdaten auch Kommunikationstechnologien zu nutzen, zum Beispiel den Mobilfunkstandard GSM (Global System for Mobile Communications), Wireless Lan oder Bluetooth. Der große Vorteil davon ist, dass inzwischen viele Menschen ein Mobilgerät wie Handy, Smartphone oder Navigationsgerät bei sich haben, das anonym geortet werden kann. Da keine Kosten für Betrieb und Instandhaltung von Sensoren anfallen, liegt in dieser Lösung ein großes Potenzial für kleine Städte.

Lässt sich denn mit Mobilgeräten ein vergleichbar gutes Bild von der Verkehrslage erzielen?

Es ist sogar besser! Induktionsschleifen können nur einen Punkt beobachten, zum Beispiel den vor einer Ampel. Die Mobilgeräte dagegen bewegen sich mit dem Verkehr, liefern also regelmäßig Informationen von der Strecke. Anhand unterschiedlicher Geschwindigkeitsprofile sind Aussagen zur Art des Verkehrsteilnehmers – also Autofahrer, Radfahrer oder Fußgänger – möglich. Führt man die Daten klassischer Sensoren mit denen von Mobilgeräten zusammen, lässt sich das Verkehrsbild sogar noch optimieren.

Wie profitiert die Verkehrssteuerung davon?

Ein genaues Verkehrsbild ist die Basis für das Verkehrsmanagement. Hierauf aufbauend kann in einer Simulation ein Modell des tatsächlichen Verkehrsablaufs mit einer Kurzfrist-Prognose erzeugt werden. Dieses Computermodell lässt sich anschließend für verschiedene, den Verkehr adaptiv steuernde Maßnahmen nutzen.

Welche zum Beispiel?

Ein direkter Eingriff ist über eine veränderte Steuerung der Ampelanlagen möglich. Indem man Ampelphasen entsprechend dem Verkehrsaufkommen verlängert oder verkürzt, kann man Staus entgegenwirken. Zum anderen lässt sich Verkehr aus überlasteten Bereichen wegverlagern, indem man die Grünphase auf dem Zufahrtsweg beschränkt und die Route unattraktiv macht. Eine vorausschauende Ampelsteuerung kann zudem die Zeit reduzieren, die Autopulks an einer Ampel „verlieren“, es bleibt dann für die herannahenden Fahrzeuge länger Grün.

Gibt es neben der Ampelsteuerung weitere Möglichkeiten zur Verkehrsbeeinflussung?

Grundsätzlich können die aktuell und großflächig erhobenen Verkehrsdaten dafür sorgen, dass stark belastete Bereiche umfahren werden und der Verkehr besser auf das Straßennetz verteilt wird. Jeder Fahrer kann seine Route vor und während der Fahrt entsprechend anpassen. Teure Anzeigetafeln für Stauinformationen würde man dann nicht mehr vermissen. ●



Ronald Nippold befasst sich im Institut für Verkehrssystemtechnik des DLR in Berlin mit Verkehrssimulation und Maßnahmen zur Verkehrssteuerung

Weitere Informationen:
www.DLR.de/ts





Mit dem Zug von Paris nach Wien in weniger als vier Stunden?

Vormittags Café au Lait in Paris, nachmittags Wiener Melange im Hotel Sacher: Für diese Strecke wählen Geschäftsleute und Weltenbummler gewöhnlich das Flugzeug, denn die Reise mit dem Zug dauert zwölf Stunden. Doch eine Fahrt mit der Bahn könnte durchaus attraktiv werden, wenn die Reisezeit kürzer wäre. Denn Bahnfahren hat einen großen Vorteil: Die meisten Bahnhöfe befinden sich in bester City-Lage, ohne Unterbrechung gelangt man direkt in die Stadt. Das DLR entwickelt ein Konzept für den Next Generation Train (NGT), einen energieeffizienten Hochgeschwindigkeitszug, der Bahnreisen erheblich schneller machen könnte. Welchen Effekt solche schnellen Städteverbindungen haben, wird – neben einer Vielzahl anderer Fragestellungen – im Projekt NGT untersucht.

Eine neue Geschwindigkeitsdimension für Europa: 400 Kilometer pro Stunde – welche Effekte hat das für den Bahnbetrieb?

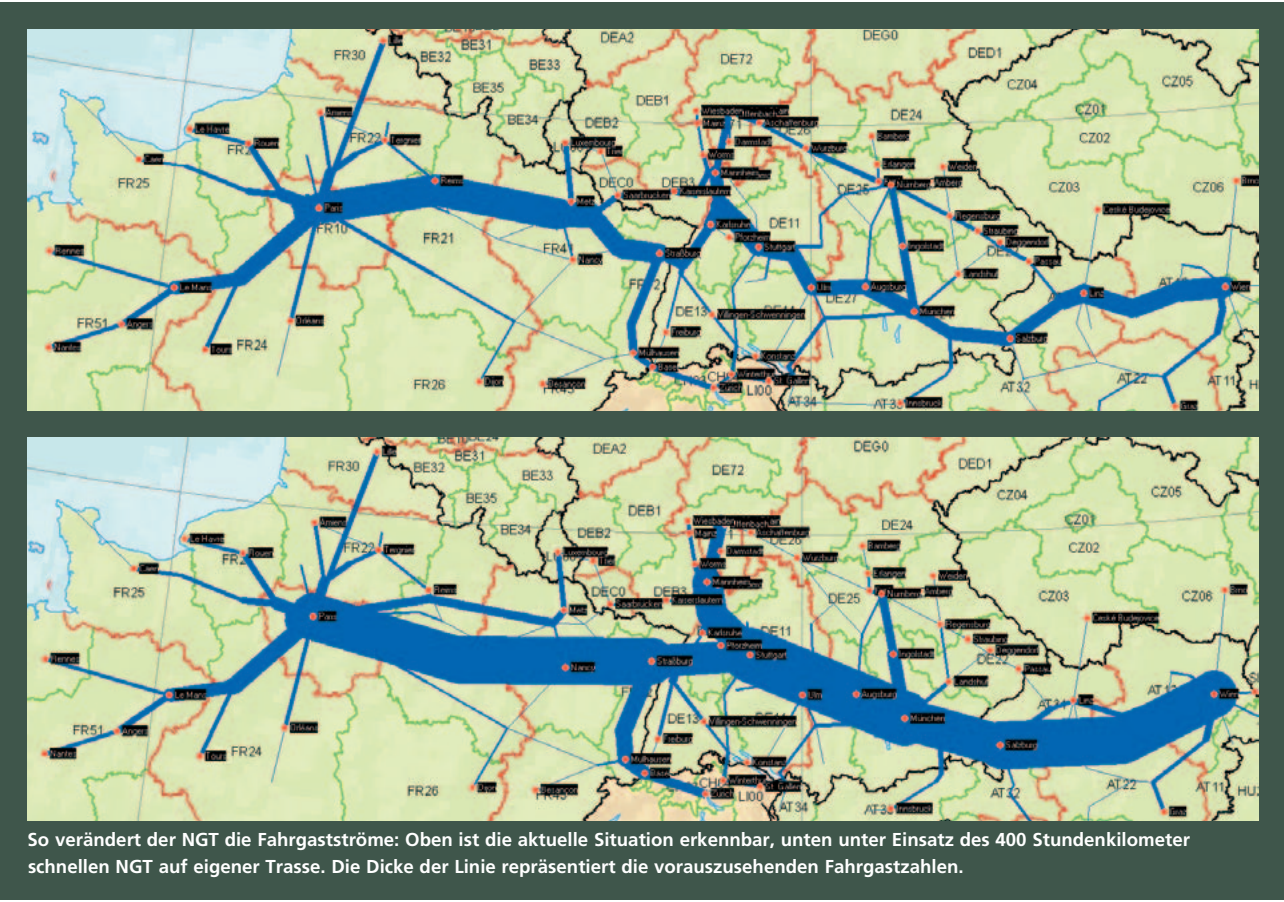
Von Tilo Schumann und Simone Ehrenberger

Gleich acht DLR-Institute sind an dem Forschungsprojekt Next Generation Train beteiligt. Sie erarbeiten ein umfassendes Konzept für den neuartigen Hochgeschwindigkeitszug. Er soll in der Lage sein, mit einem Tempo von 400 Kilometern pro Stunde zu fahren und so für schnellere Städteverbindungen zu sorgen. Doch die deutliche Steigerung der bisher üblichen Geschwindigkeit ist nicht die einzige Herausforderung. Hohe Sicherheit und einen niedrigen Energieverbrauch haben die Wissenschaftler und Ingenieure ebenso im Blick. Wie kann dieser Anspruch erfüllt werden? Um diese Frage zu beantworten, beschäftigt man sich in den DLR-Instituten mit den Anforderungen an die Wagengestaltung und an die Materialien, aus denen die Wagen gebaut werden sollen. Sie erforschen, welche Auswirkungen beides auf die Aerodynamik hat, welche Lärmbelastung entsteht und welcher Komfort den Reisenden geboten werden soll. Auch das Energiemanagement und ein Antriebs- sowie Bremskonzept werden erstellt. Und nicht zu vergessen: Eine Kalkulation der Wirtschaftlichkeit des Zugs: Um speziell hierfür möglichst genaue Aussagen machen zu können, werden Streckenszenarien und Betriebskonzepte entworfen und bewertet.

Schneller, aber sparsamer – geht das?

Die Länge des Zugs nächster Generation wird mit rund 200 Metern derjenigen des ICE 3 entsprechen. Das äußere Erscheinungsbild der Wagen wird sich aufgrund ihrer doppelstöckigen Ausführung etwas von einem ICE 3 unterscheiden. Leichtbauweise soll sicherstellen, dass der NGT bei vergleichbaren Geschwindigkeiten nur knapp die Hälfte der Energie pro Sitzplatz verbraucht, die der ICE 3 benötigt. Andererseits muss der NGT über eine außergewöhnlich starke Motorisierung verfügen (jedes Rad wird einzeln angetrieben), damit er in akzeptabler Zeit auf

Nur noch 3:47 Stunden soll die Fahrt von Paris nach Wien mit dem Hochgeschwindigkeitszug der Zukunft dauern. Damit könnte sich der Zug bei Betrachtung der Gesamtreisezeit durchaus mit dem Flugzeug messen.



die Höchstgeschwindigkeit von 400 Stundenkilometern beschleunigen kann. In der geplanten Konfiguration braucht er dafür nur sechs Minuten.

Bei der Ausarbeitung des Zugkonzepts spielt auch die Frage nach dem Zweck und dem Ort des Einsatzes eine wichtige Rolle: Wird er nur Metropolen innerhalb Europas miteinander verbinden oder können auch kleinere Städte als Haltepunkte einbezogen werden? Sollte sich die angestrebte hohe Geschwindigkeit bei niedrigem Energieverbrauch tatsächlich realisieren lassen, könnte der neue Zug auf großen Strecken bis über 1.000 Kilometer Länge eingesetzt werden. Damit kann mehr Kurzstreckenflugverkehr auf die Schiene verlagert werden.

Um zu erfahren, welche Effekte die Einführung des NGT haben könnte, muss zunächst der aktuelle Zustand des Bahnverkehrs in einem Modell nachgebildet werden. Hieraus lassen sich bereits bestehende hoch frequentierte Städteverbindungen in Europa erkennen. In das Modell fließen Daten zur Anzahl der Einwohner und der Wirtschaftskraft (Bruttoinlandsprodukt je Einwohner) der Städte ein. In die Betrachtung wurden hierbei die Städte und das Bahnnetz in einem Korridor um die betrachtete Referenzstrecke einbezogen. Ergebnis des Modells sind Werte zu den Fahrgastzahlen zwischen den Städten.

Bei dem Modell handelt es sich um ein sogenanntes Gravitationsmodell. Es hat seinen Namen in Anlehnung an die Kraft der Massenanziehung erhalten. Die Anziehungskraft zwischen zwei Orten ist in diesem Fall die Verkehrsmenge pro Jahr und unter Masse sind die sozio-ökonomischen Faktoren Einwohnerzahl und Wirtschaftskraft zu verstehen. Zusätzlich werden die Entfernung und die Reisegeschwindigkeit in die Berechnung einbezogen. Sie sind der Widerstandsfaktor. Denn je länger die Reisezeit ist, desto geringer wird die Bereitschaft sein, den Zug zu nehmen beziehungsweise die Reise überhaupt anzutreten.

Das aufgestellte Modell wird im nächsten Schritt mit realen Werten abgeglichen. Dafür wurden statistische Werte von Eurostat, der Datenbank der Europäischen Kommission, mit der regionalen Verteilung der Bahnreisenden verwendet. Für jeden Fahrgast wird in einem weiteren Schritt die günstigste Fahrtstrecke ermittelt. Auf diese Weise erfährt man, wie viele Fahrgäste auf den Strecken unterwegs sind und wie viele Personen an den einzelnen Bahnhöfen ein- und aussteigen.

Als Referenzstrecke wurde die Verbindung von Paris über Stuttgart und München nach Wien ausgewählt. Sie wird mit Hilfe des Verkehrsmodells daraufhin untersucht, welchen Einfluss der NGT auf Nachfrage und Angebot haben könnte. Heute benötigt ein Reisender für die Bahnfahrt von der Seine zur Donau elf bis zwölfteinstunden, mit mindestens einem Umstieg. Daher ist es nicht verwunderlich, dass sich bislang lediglich 37.000 Reisende pro Jahr für den Zug entschieden haben.

Das Szenario sieht eine neue Schnellfahrstrecke vor, die durchgehend von Paris nach Wien mit 400 Stundenkilometern befahren werden soll. Ausnahmen sind diejenigen Städte unterwegs, an denen der NGT halten soll. Damit der NGT die vorhandenen Bahnhöfe in den Innenstädten anfahren kann, wird die neue Bahnstrecke mit bestehenden Trassen kombiniert, auf denen langsamer gefahren werden muss. Neben Stuttgart und München wird auch in Straßburg und Salzburg ein Halt eingelegt.

Unter der Annahme, dass sich das Szenario umsetzen lässt, könnte der NGT die Fahrt von Paris nach Wien in lediglich drei Stunden und 47 Minuten bewältigen. Damit erreicht er knapp die Reisezeit eines Flugzeugs, für die ein Reisender insgesamt etwa dreieinhalb Stunden einplanen muss (bei etwa zwei Stunden reiner Flugzeit). Doch nicht nur auf der Gesamtstrecke würde sich die Reisezeit mit dem Zug erheblich verkürzen, auch die Strecken zwischen den Städten, in denen gehalten wird, ließen sich schneller zurücklegen. Diese Möglichkeit wird vor allem

auch auf deutschem Boden eine verstärkte Nachfrage zur Folge haben. So wird sich zum Beispiel in München die Anzahl der Fernreisenden verdoppeln, in Stuttgart steigt sie um 70 Prozent. Auf der Strecke nach Paris hingegen werden so hohe Steigerungsraten voraussichtlich nicht zu erzielen sein, da der französische Hochgeschwindigkeitszug TGV (Train à grande vitesse) dort bereits sehr schnell verkehrt. Eine besonders hohe Nachfrage wird für Strecken zu erwarten sein, die heutzutage in erster Linie geflogen werden, so München–Paris oder Stuttgart–Wien. Die Gesamtstrecke Paris–Wien und zurück fahren im NGT 450.000 Reisende pro Jahr.

Wenn die Nachfrage für Reisen mit dem NGT wie angenommen steigt, ergeben sich vielfältige Möglichkeiten zur Fahrplangestaltung. Vier Hochgeschwindigkeitszüge pro Stunde und Richtung wären auf dem voraussichtlich am stärksten frequentierten Abschnitt Stuttgart–München zu den Hauptverkehrszeiten erforderlich, wenn jeder der 70.000 Fahrgäste pro Tag einen Sitzplatz erhalten soll. So ließe sich ein bequemer 15-Minuten-Takt einrichten, wenn die Strecke dem NGT exklusiv zur Verfügung steht.

Das Potenzial: 60 Millionen Reisende

Internationale Verkehre sind auch in der EU heute noch schwächer ausgeprägt als nationale. Dies hängt vor allem mit den unterschiedlichen Sprachen zusammen. Die französisch-deutsche Sprachgrenze am Rhein wird im Verkehrsmodell daher speziell behandelt. Demnach gehört der grenzüberschreitende Abschnitt mit künftig 40.000 Fahrgästen pro Tag zu den eher schwächer nachgefragten. Doch sogar hier besteht immerhin noch Bedarf für zwei Züge pro Stunde und Richtung. Im französischen Teil der Referenzstrecke ist die Bedeutung von Zwischenhalten und Zubringerverkehr weniger ausgeprägt, da die Bevölkerung auf Metropolregionen wie Paris konzentriert ist und sich nicht so stark verteilt wie in Deutschland.

Aufgrund der Prognose könnte die Verkehrsleistung – also die Anzahl der Reisenden multipliziert mit der gefahrenen Strecke – auf der Strecke Paris–Wien mit dem Zug der nächsten Generation um 130 Prozent gesteigert werden. Um die Gesamtstrecke und alle an ihr gelegenen Städte effizient bedienen zu können, müssten 43 der schnellen Züge eingesetzt werden – mit ihnen fahren dann rund 60 Millionen Reisende pro Jahr.

Alternative Szenarien mit vorhandenen Schnellfahrstrecken

Hohe Geschwindigkeit, hohes Potenzial, hohe Erwartungen – der NGT verspricht in jeder Hinsicht ein Zug der Superlative zu sein. Es werden sich jedoch auch die Kosten in neuen Größenordnungen bewegen, und zwar nicht nur für den Bau des Zugs selbst, sondern auch für den weiteren Strecken. Im Fall von Paris–Wien würde die zu errichtende Schnellfahrstrecke 1.145

Kilometer umfassen. Daher wurden auch andere Szenarien mit Hilfe des Verkehrsmodells durchgespielt.

Szenario 2: Welche Auswirkungen hat es, wenn der NGT in noch mehr Städten hält, zum Beispiel in Karlsruhe oder in Ulm? Antwort: Dies würde zwar zu deutlich höheren Fahrgastzahlen führen, die Verkehrsleistung allerdings nicht ändern, da die Gesamtgeschwindigkeit aufgrund der häufigeren Halte abnimmt.

Szenario 3: Könnten vorhandene und geplante Schnellfahrstrecken einbezogen werden, um einen Neubau der gesamten Strecke zu vermeiden? – Damit ließen sich die Baukosten zwar deutlich reduzieren, allerdings müsste der NGT hier merklich langsamer fahren, da diese Strecken nur für Geschwindigkeiten von 200 bis 320 Stundenkilometer ausgelegt sind. Daher würde die angestrebte Fahrzeit unter vier Stunden nicht erreicht werden. Dennoch könnte die Verkehrsleistung für die Gesamtstrecke immerhin noch um etwa 80 Prozent gesteigert werden.

Betrachtet man allein den deutschen Teil der Referenzstrecke, so läge die Durchschnittsgeschwindigkeit aller Bahnfahrten – also auch bei Teilstrecken mit anderen Zügen – etwas höher, wenn der NGT öfter hielte. Das klingt zunächst paradox, weil die Durchschnittsgeschwindigkeit des NGT sinkt, je häufiger er hält. Aber bei dieser Kalkulation darf er nicht singulär betrachtet werden, sondern als Teil eines Ganzen. Geht man bei der Wahl der Städte als Haltepunkte strategisch vor, so könnte eine größere Zahl von Reisenden für Teilstrecken von der hohen Geschwindigkeit des NGT profitieren. Für eine optimale Nutzung der Potenziale des NGT muss auch eine Koordinierung des neuen Zugs mit dem Regionalverkehr als Zubringer und Feinverteiler erfolgen. Denkbar wäre eine NGT-Variante für den Regionalverkehr, die ebenfalls im DLR entwickelt wird.

Die Untersuchungen zeigen, dass die Bahn für Verbindungen auch über 1.000 Kilometer Länge eine Alternative zum Flug bieten kann. ●

Autoren:

Tilo Schumann ist wissenschaftlicher Mitarbeiter im DLR-Institut für Verkehrssystemtechnik in Braunschweig und verantwortlich für die Erstellung der Betriebskonzepte im Rahmen des Projekts NGT.

Simone Ehrenberger, wissenschaftliche Mitarbeiterin am DLR-Institut für Fahrzeugkonzepte, Stuttgart, ermittelt im Rahmen des Projekts NGT Einsatzpotenziale und Life-Cycle-Kosten.

Weitere Informationen:

www.DLR.de/ts
www.DLR.de/fk
<http://s.DLR.de/130p>



Der Flügel denkt mit

Jedes Jahr nimmt der Luftverkehr um fünf bis sechs Prozent zu. Eine Belastung für die Umwelt und die Menschen, vor allem dort, wo gestartet und gelandet wird. Um den Luftverkehr so umweltverträglich wie möglich zu gestalten, haben DLR-Wissenschaftler Forschungsziele identifiziert, die innerhalb der nächsten Jahre erreicht werden müssen, und zwar in fachübergreifender Zusammenarbeit. Immer wichtiger dabei wird es, den Luftwiderstand der Flugzeuge zu verringern und die Lärm- und Schadstoffemissionen zu senken. Dafür sind formvariable, das heißt sich der jeweiligen Flugphase anpassende Leichtbaustrukturen eine Schlüsseltechnologie. Sie sollen dafür sorgen, dass die Flügel optimal umströmt werden. So erhält das Flugzeug maximalen Auftrieb, insbesondere bei den niedrigen Geschwindigkeiten des Start- und Landevorgangs. Mit der Technologie des intelligenten Hochauftriebs wollen die Forscher des DLR-Instituts für Faserverbundleichtbau und Adaptronik gemeinsam mit Industriepartnern den Weg für das umweltverträgliche Flugzeug der Zukunft bereiten.

Formvariable Strukturen sorgen für den Hochauftrieb zukünftiger Verkehrsflugzeuge

Von Markus Kintscher und Dr. Olaf Heintze

Flugzeuge müssen zukünftig wesentlich sparsamer im Verbrauch und leiser für den Einsatz an stadtnahen Flughäfen sein. Einen großen Einfluss auf diese Eigenschaften eines Verkehrsflugzeugs haben die Hochauftriebssysteme an der Vorder- und Hinterkante des Flügels. Ein solches System besteht bei heutigen Verkehrsflugzeugen wie dem Airbus A320 in der Regel aus Landeklappen an der Flügelhinterkante und aus den Vorflügeln, den sogenannten Slats, an der Flügelvorderkante. Bei Start und Landung werden Landeklappen und Vorflügel ausgefahren, um den nötigen Auftrieb in Phasen mit niedriger Fluggeschwindigkeit bereitzustellen.

Um den Luftwiderstand im Reiseflug zukünftig zu reduzieren, streben die Forscher eine laminare Umströmung des Flügelprofils an, mit der der Widerstand um bis zu zwölf Prozent reduziert werden könnte. Diese Art der glatten, wirbellosen Umströmung setzt allerdings eine hohe Oberflächenqualität voraus. Mit den bisher üblichen ausfahrbaren Hochauftriebshilfen kann das nicht erreicht werden. Die bestehenden Stufen und Unebenheiten in der Flügeloberfläche stehen dem im Weg. Zudem öffnen sich durch das Ausfahren der Vorflügel im Landeanflug Spalten, durch die Luft von der Unterseite des Flügels auf die Oberseite strömen kann. Das verursacht Lärm, den man in Zukunft vermeiden möchte. Fieberhaft suchen die Wissenschaftler deshalb nach Lösungen, die einerseits eine laminare Umströmung des Profils zulassen, andererseits aber den benötigten Auftrieb bei Start und Landung gewährleisten.

Im nationalen Projekt SmartLED (Smart Leading Edge Device) wurde daher in Zusammenarbeit mit den Partnern Airbus, EADS-Innovation Works und CASSIDIAN Air Systems an einer Alternative zu den herkömmlichen Vorflügeln geforscht, der sogenannten Smart Droop Nose – einer formvariablen, spaltlosen Vorderkante. Die Idee, die zu Grunde liegt, ist eigentlich einfach: Statt einen Vorflügel zu verwenden, verformt man die fest ange-

Die Vorderkanten von Flugzeugflügeln sollen künftig für optimale Umströmung sorgen. Dazu verleihen ihnen DLR-Forscher die Fähigkeit, ihre Form variabel zu halten und dem Luftstrom anzupassen.



baute Vorderkantenstruktur so, dass sich eine ähnliche gewölbte Profilkontur ergibt, allerdings ohne einen Spalt zu erzeugen. Der benötigte Auftrieb kann so weiterhin durch Absenken der Vorderkante erzeugt werden, jedoch ohne Lärm zu verursachen. Gleichzeitig sorgt die glatte Kontur des Profils für eine wirbelfreie Strömung.

Gefragt sind Strukturen, die elastisch und steif zugleich sind

Die Herausforderung an dieser Idee ist die Kombination der gegenläufigen Anforderungen, die an solch ein Struktursystem bestehen: Einerseits soll die Struktur flexibel und elastisch sein, um die notwendigen großen Verformungen unbeschadet überstehen zu können, andererseits muss sie eine hohe Steifigkeit besitzen. Denn die Anforderungen, die an sie gestellt werden, sind hoch: Im Landeanflug beispielsweise muss von der Vorderkante etwa ein Drittel des gesamten Flugzeuggewichts getragen werden.

Bauweisen und Konzepte für flexible und gleichzeitig doch steife Strukturen werden bereits seit dem Beginn der Luftfahrt von Forschergruppen rund um die Welt untersucht. Es existiert eine Vielzahl von Patenten und Konzepten, die es sich zur Aufgabe gemacht haben, Lösungen für verschiedene Anwendungen bereitzustellen. Trotzdem existiert bisher kein Konzept, welches tatsächlich in einem Verkehrsflugzeug zum Einsatz kommt. Der Nachteil der bisher erarbeiteten Konzepte ist ihr Gewicht: Um der Forderung nach Flexibilität nachzukommen, wird meist ein extrem weiches Material wie Silikon für die Haut der Flügel eingesetzt. Wegen der geringen Steifigkeit der Haut muss in Konsequenz ein aufwändiger und damit schwerer innerer Mechanismus die Haut gegen die von außen wirkenden Kräfte abstützen. Die Lösung liegt also darin, einen ausgewogenen Kompromiss zwischen der lasttragenden Haut und einem möglichst einfachen Mechanismus zum Verstellen der Vorderkante zu finden.

Um diesen Konflikt lösen zu können, mussten zunächst geeignete Materialien ermittelt werden. Im Fokus der Untersuchungen standen insbesondere glasfaser- und kohlenstofffaser-verstärkte Kunststoffe (GFK bzw. CFK) als typische in der Luftfahrtindustrie verwendete Materialien. Von besonderem Interesse ist hier eine hohe Dehnbarkeit der Materialien bei möglichst hoher Steifigkeit. Aus zahlreichen Tests und Berechnungen konnte schließlich ein Glasfaser-Material ausgewählt werden, das genau diesen Anforderungen genügt.

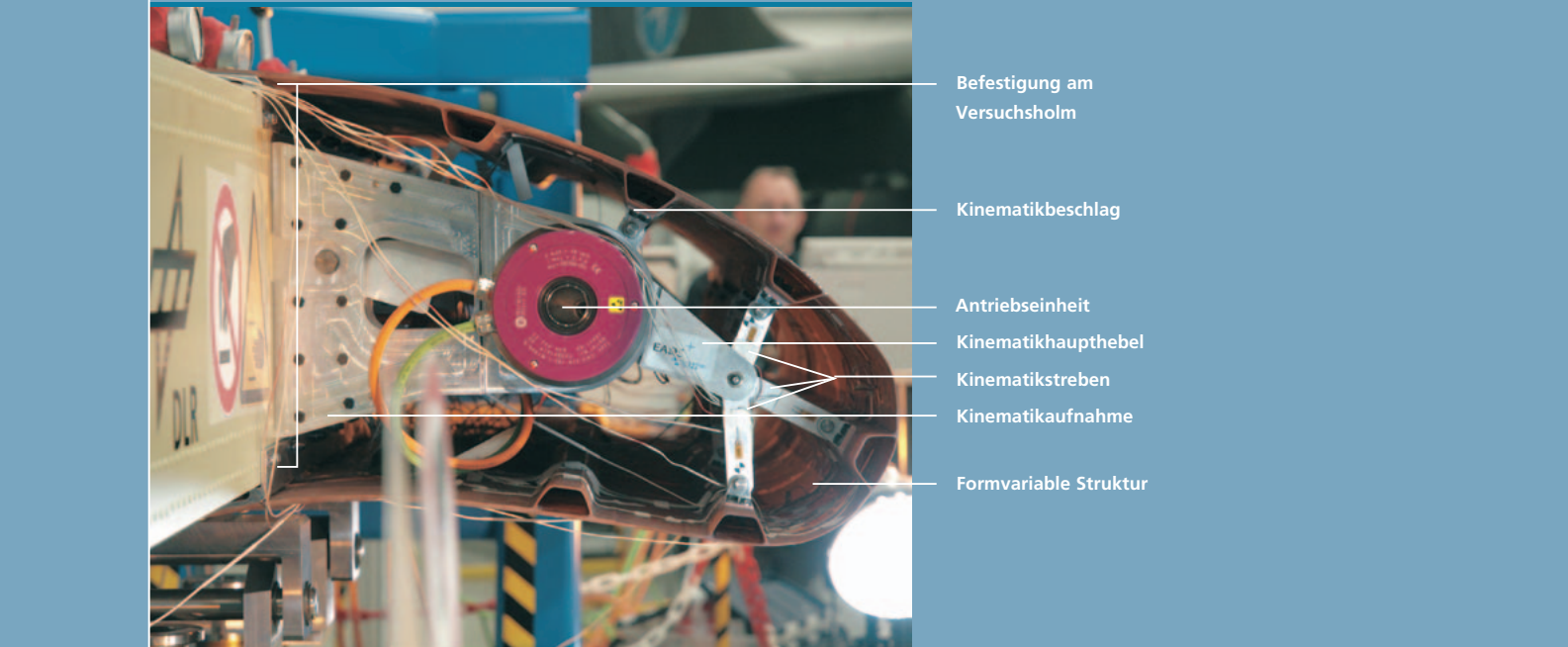
Eine Vorderkante, die von allein die gewünschte Form annimmt

Nicht weniger wichtig als das geeignete Material ist das Konzept, auf welchem die Funktionsweise und das Zusammenspiel von intelligenter Faserverbundstruktur und innerem Mechanismus basiert. Denn erst dadurch werden die angestrebten großen Verformungen der Vorderkante möglich. In Zusammenarbeit mit den Partnern Airbus, EADS-IW und CASSIDIAN Air Systems wurden daher diverse Konzepte zur Umsetzung einer formvariablen Vorderkantenstruktur durchgespielt und bewertet. Als aussichtsreichste Idee wurde ein Konzept ausgearbeitet, in dem die Faserverbundhaut nur gebogen, nicht aber gedehnt wird, um die Materialbeanspruchung möglichst gering zu halten. Durch eine spezielle Anordnung einzelner Lagen wird mit der Haut eine Struktur erzeugt, die über eine maßgeschneiderte Steifigkeitsverteilung verfügt. So verformt sich die Vorderkante von sich aus in die gewünschte abgesenkte Form.

Um die Stabilität zu erhöhen, wird die intelligente Hautstruktur durch Längsversteifungen, sogenannte Stringer, entlang der Spannweite versteift. Diese Stützelemente dienen gleichzeitig als Struktur zur Krafteinleitung in die Haut und als Interface für den Verstellmechanismus. Im Verlauf der Arbeiten wurde schnell klar, dass nur eine sehr eng abgestimmte Entwicklung der äußeren Faserverbundstruktur der Vorderkante und des inneren Verstellmechanismus zum Ziel führt. Im Gegensatz zu herkömmlichen Strukturen sind die einzelnen Komponenten in dem gewählten Konzept dieses in seiner Form variablen Systems, also die Vorderkantenstruktur und der Verstellmechanismus, für sich genommen instabil. Erst durch das Zusammenwirken erhält das System seine Stabilität und Steifigkeit und lässt sich gleichzeitig in der gewünschten Art und Weise verformen.

Simulation, Bodenversuch und dann der Test im Windkanal

In der Phase der Auslegung und Optimierung der formvariablen Struktur wurden mit Hilfe von Simulationsmodellen besonders kritische Stellen identifiziert und sichtbar gemacht. Wegen der hohen Anforderungen an die Oberflächenqualität der Struktur konnten keine herkömmlichen Verbindungstechniken wie Nieten verwendet werden. Kritisch sind daher insbesondere die Stellen, an denen der Stringer, also der Längsträger, mit der Hautstruktur verklebt ist. Deshalb wurden repräsentative Ausschnitte ausgewählt, gefertigt und Substrukturtests unterzogen. Anschließend wurden die Tests in Simulationen mit 3-D-Model-



len nachgerechnet, um Aufschluss über das Schädigungsverhalten dieser Verbindungen zu bekommen.

Nach Auswertung der Ergebnisse wurde in einem ersten großskaligen Bodenversuch ein zwei Meter großer Abschnitt der formvariablen Vorderkante im Maßstab 1:1 getestet. Das Hauptziel des Versuchs war es, nachzuweisen, dass eine dreidimensionale formvariable Vorderkantenstruktur unter Flügelbiegung machbar und funktionstüchtig ist. Anhand der Messungen konnte die erarbeitete Auslegungsmethode für beliebige formvariable Strukturen validiert werden. Dabei gewannen die Wissenschaftler wichtige charakteristische Informationen über die formvariable Vorderkante. Auf Basis der gewonnenen Daten erfolgt nun die Weiterentwicklung und Optimierung der sogenannten Smart Droop Nose, insbesondere hinsichtlich industrieller Anforderungen wie Blitzschutz, Enteisung und Vogelschlag.

Zusätzlich zum Bodenversuch findet im Rahmen des europäischen Projekts SADE (Smart High Lift Devices for Next Generation Wings) ein Windkanaltest in einem der größten europäi-

schen Windkanäle bei Moskau in Zusammenarbeit mit der russischen Luftfahrtforschungseinrichtung TsAGI (Central Aerohydrodynamics Institute) statt. Mit ihm sollen im November 2011 die Funktionsweise und die Leistungsfähigkeit des Systems unter realistischen Flugbedingungen nachgewiesen werden. ●

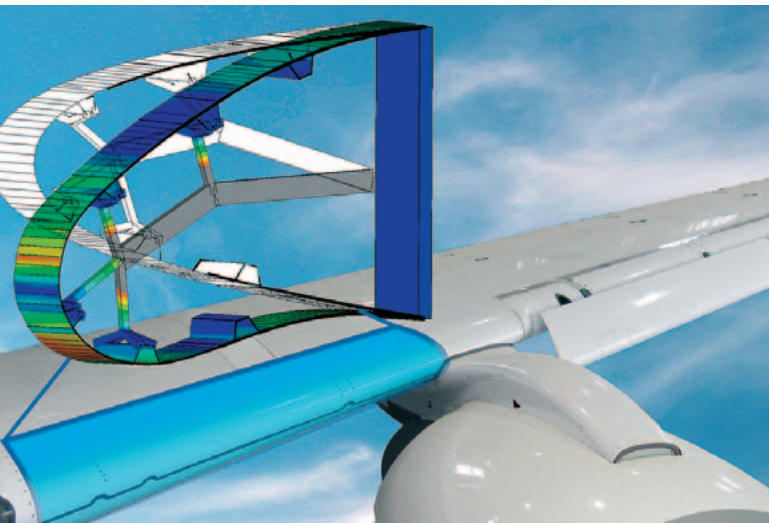
Autoren:

Dr. Olaf Heintze, Invent GmbH Braunschweig, war zuvor in der Abteilung Adaptronik des DLR-Instituts für Faserverbundleichtbau und Adaptronik Schwerpunktleiter Hochauftrieb und Leiter des Projekts SmartLED, in dem die Ergebnisse entstanden sind.

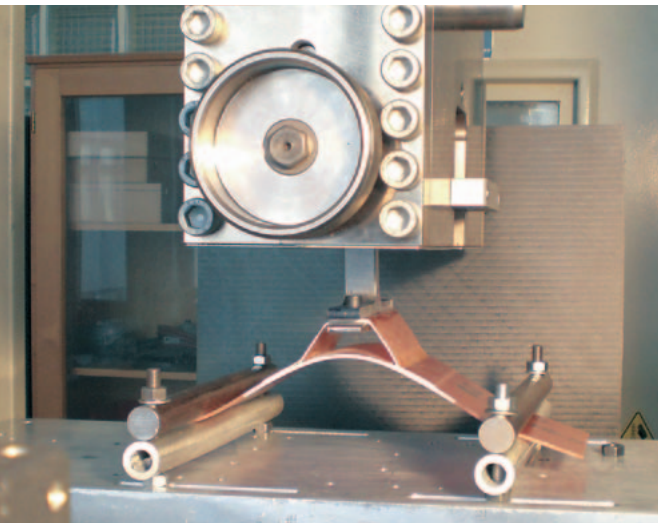
Dipl.-Ing. Markus Kintscher war im Projekt SmartLED für Design, Berechnung, Bau und Versuch zur formvariablen Vorderkante verantwortlich und führt nun die Arbeiten von Dr. Olaf Heintze als Schwerpunktleiter fort.

Weitere Informationen:

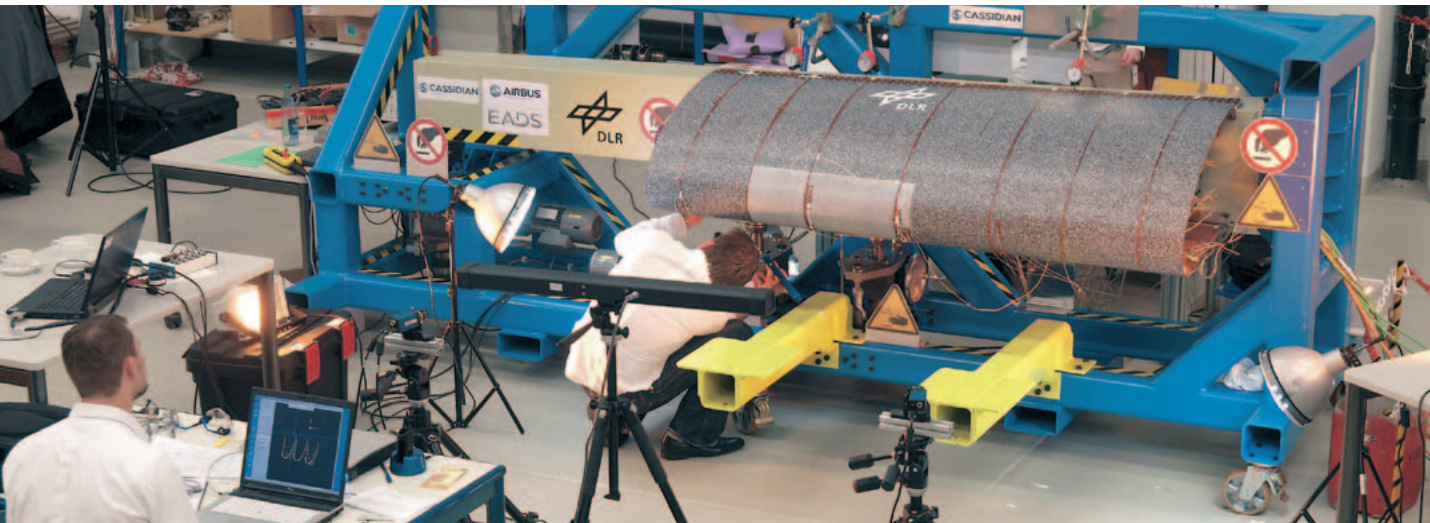
www.DLR.de/fa
www.smr.ch/sade



Vereinfachtes Simulationsmodell des Konzepts der formvariablen Vorderkante



Stringer im Strukturtest: Damit wird die Festigkeit der Klebeverbindung auf der flexiblen Haut bestimmt



Formvariable Vorderkante im Maßstab 1:1 im Gesamtteststand: Hier wird die Flügelbiegung entsprechend eines 2g Abfangmanövers simuliert. Eine Speziallackierung dient der Vermessung mit optischen Verfahren.

Leichtbau zum Abheben

Luftfrachtcontainer umhüllen kleinteilige Fracht und schützen sie. Vom Marktführer der internationalen Logistikindustrie, Deutsche Post DHL, werden diese zu den weltweit 120.000 Zielen transportiert. Um den Luftfrachtverkehr umweltfreundlicher und kosteneffizienter zu gestalten, ist das Gewicht dieser Unit Load Devices (ULDs) zu minimieren und ihre Robustheit gleichzeitig zu steigern. Für dieses Ziel kooperiert die Deutsche Post DHL mit dem DLR. Das Institut für Faserverbundleichtbau und Adaptronik entwickelte im Rahmen einer Machbarkeitsstudie für DHL Solutions & Innovations Konzepte eines zukünftigen Containers. Das Ergebnis: 30 Prozent Gewicht kann eingespart werden.

Luftfrachtcontainer aus Verbundwerkstoffen

Von Ivonne Bartsch

Die betrachteten Container transportieren bis zu sechs Tonnen Fracht auf einer Grundfläche von sechs Quadratmetern. Sie wiegen zwischen 200 und 300 Kilogramm. Je nach Flugzeugtyp passen achtzehn bis fünfundzwanzig Container auf das Hauptdeck eines Frachtflugzeugs. Um die Frachtkapazität zu erhöhen und damit auch den Treibstoffverbrauch zu senken, ist das Leergewicht der ULDs so gering wie möglich zu halten. Gleichzeitig sind die Luftfrachtcontainer rauen Alltagsbedingungen ausgesetzt. Sie werden täglich über Rollen- und Kugelbahnen geschoben und sind unter freiem Himmel Wind und Wetter ausgesetzt. Beim Beladen mit Gabelstaplern kann es zu Beschädigungen kommen. Die gängigen Reparaturverfahren sind kostenintensiv und zeitaufwändig. Im Vordergrund der DLR-Studie standen daher hauptsächlich die Aspekte Leichtbau und Robustheit.

Das größte Potenzial hinsichtlich der Gewichtseinsparung hat der Boden des Containers, der um die 100 Kilogramm wiegt. Die neue Ausführung der Bodenplatte als Sandwichstruktur sorgt für eine hohe Steifigkeit bei geringem Gewicht. Da sich das neue Material auch weniger durchbiegt, verteilt sich die Last gleichmäßiger auf den Container und das Transportladesystem des Flugzeugs. Eine Materialkombination aus Faserkunststoffverbunden, Elastomeren, druckfesten Kernmaterialien und einer Verschleißschicht sorgt für eine hohe Leichtbaugüte und Robustheit gegenüber den punktuellen Belastungen der Rollen des Transportsystems.

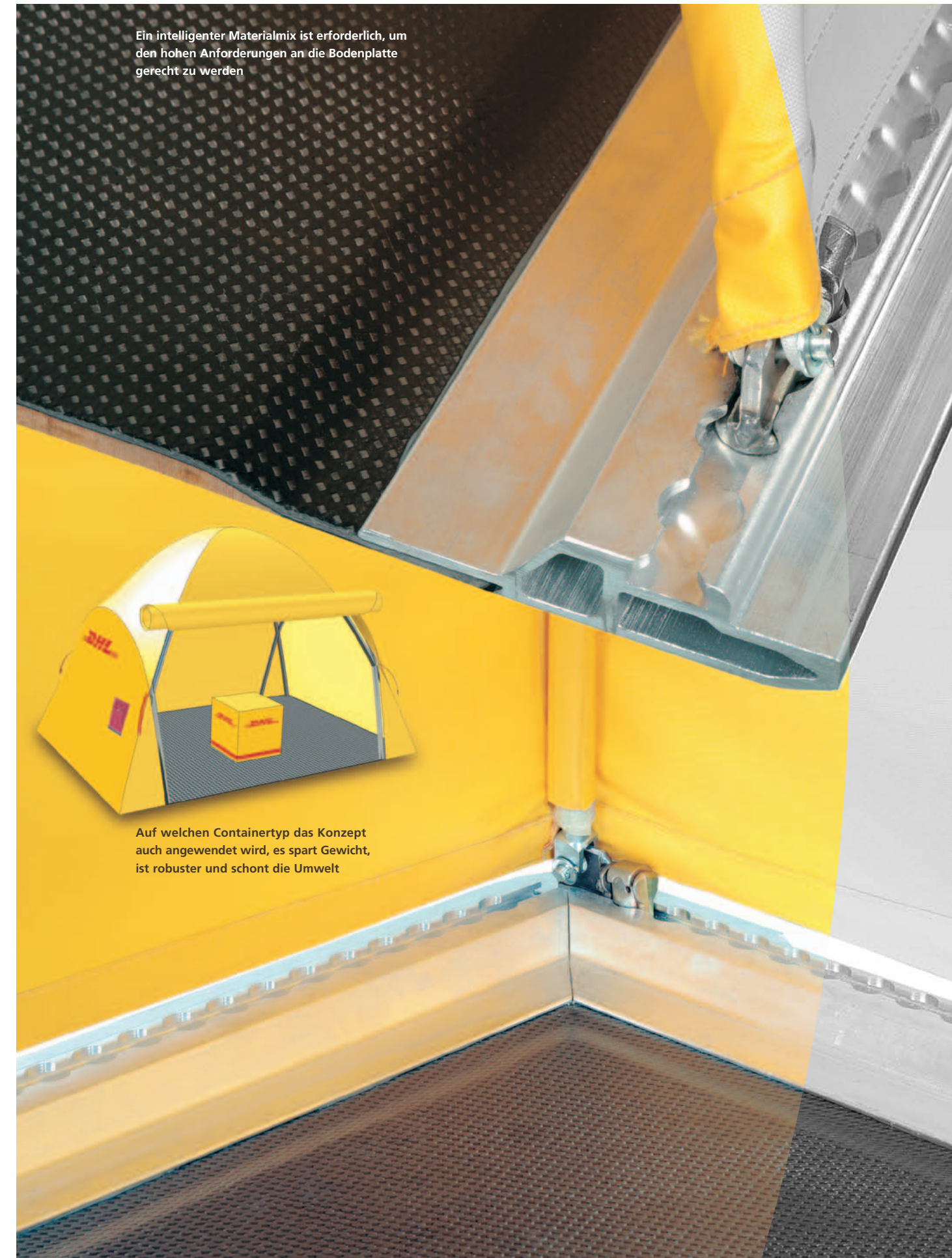
Bei dem DLR-Konzept bestehen die Seitenwände aus einem sehr leichten technischen Textil. Die elastische Eigenschaft des Materials macht die Seitenwände resistenter gegenüber Beschädigungen. Muss das Gewebe dennoch repariert werden, kann dies sehr einfach und kostengünstig noch vor Ort erfolgen. Der Ersatz von beschädigten Containern und der Transport zu externen Reparaturfirmen entfällt. Das technische Textil ermöglicht außerdem den Einsatz der Radiofrequenz-Identifikation (RFID), da die elektromagnetischen Wellen das Textil durchdringen können. Textile Seitenwände können auf beliebige Außenkonturen angepasst werden und sind so für jeden Containertyp geeignet.

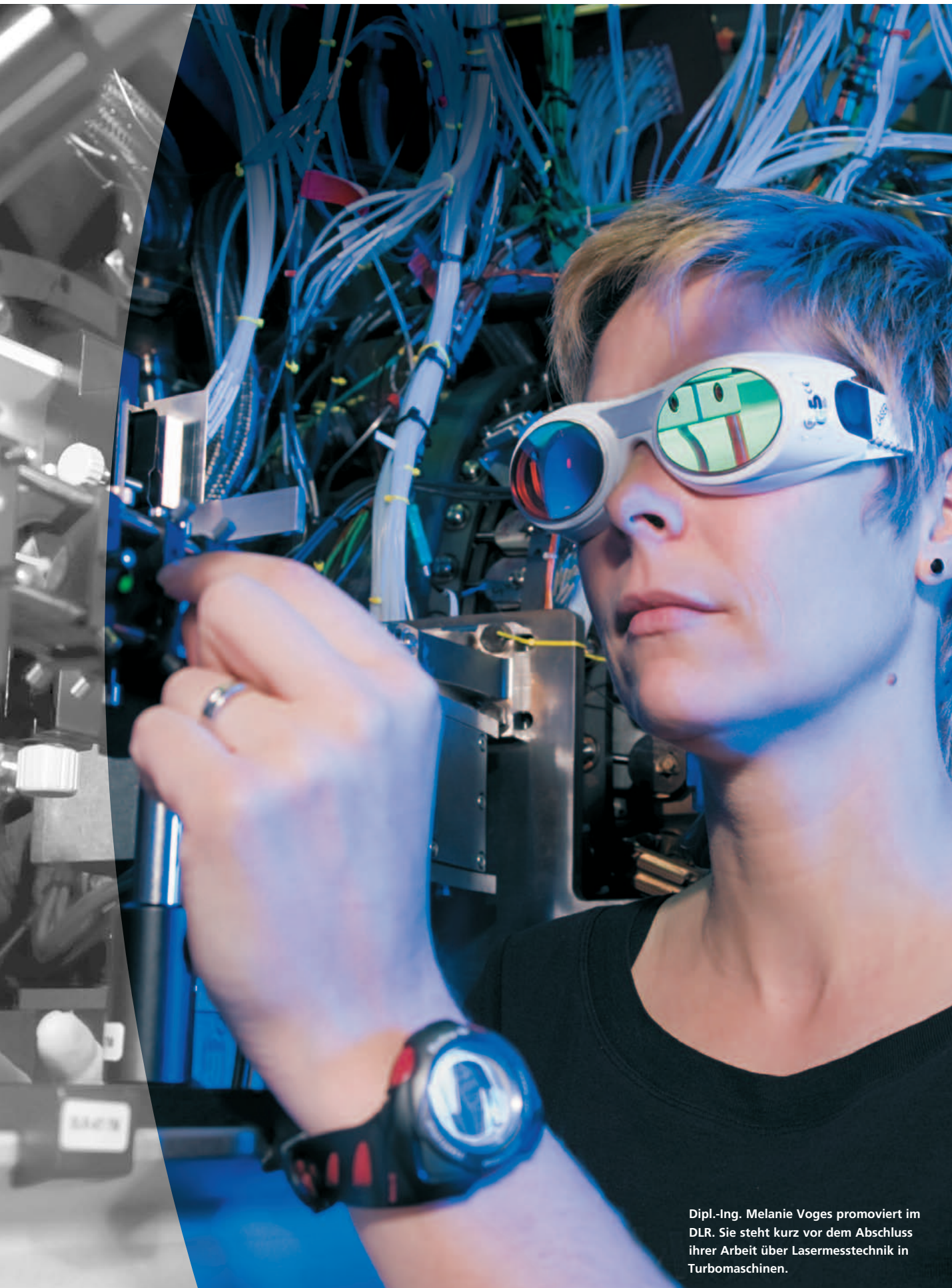
Mit dem neuen Konzept lassen sich mindestens 30 Prozent Gewicht pro Container (Leergewicht) einsparen. Die Einsparung eines Kilogramms Fluggewicht mindert die Emissionen um etwa 200 Kilogramm Kohlendioxid jährlich. Dies bedeutet im Luftfrachtsegment von DHL eine durchschnittliche Einsparung von 285 Tonnen Kohlendioxid pro Flugzeug und Jahr. Vereinfachte Reparaturmethoden, robustere Bauweisen und die mit Leichtbau einhergehende Kraftstoffeinsparung reduzieren außerdem die Kosten für den Anwender. ●

Autorin:

Ivonne Bartsch ist am Institut für Faserverbundleichtbau und Adaptronik in der Abteilung Funktionsleichtbau als wissenschaftliche Mitarbeiterin tätig und beschäftigt sich dort seit 2009 mit der Thematik Luftfrachtcontainer.

Weitere Informationen:
www.DLR.de/fa





Dipl.-Ing. Melanie Voges promoviert im DLR. Sie steht kurz vor dem Abschluss ihrer Arbeit über Lasermesstechnik in Turbomaschinen.

Nachwuchs fördern – eine Frage der DLR-Kultur

Ein Kommentar von Klaus Hamacher



Klaus Hamacher ist stellvertretender Vorsitzender des DLR-Vorstands. Geboren ist er 1961 in der Nordeifelstadt Düren, später studierte er Betriebswirtschaftslehre an der Universität Köln. Er arbeitet – mit kurzen Unterbrechungen – bereits seit 1987 im DLR. Seit 2006 ist Klaus Hamacher als Vorstandsmitglied zuständig für das administrative und technische Management sowie Technologiemarketing und Projektträgerschaften.

Ein paar Amateurfunkgeräte und ein stillgelegter Windkanal im DLR Göttingen standen am Anfang. Daraus wurde im Jahr 2000 ein erstes DLR_School_Lab. Schüler und Lehrer begeisterten sich gleichermaßen für diesen außerschulischen Lernort. Bald richteten wir weitere Schülerlabore ein, inzwischen gibt es neun DLR_School_Labs. Und sie werden geradezu überrannt, weitere Labore sind in Vorbereitung. Auch Studierende und Promovierende werden im DLR engagiert betreut – das reicht von Praktika in unseren Instituten bis zu einem anspruchsvollen Doktorandenprogramm. Mittlerweile sind all diese Maßnahmen unter dem Titel DLR_Campus in einem ganzheitlichen Konzept zur Nachwuchsförderung zusammengefasst und dabei auch immer wieder ergänzt und erweitert worden. Mit DLR_Campus wollen wir Nachwuchsförderung in einem systematischen Ansatz entlang der Bildungskette betreiben. Statt einzelner Maßnahmen hier und da geht es um ein Gesamtkonzept, in dem alle Aktionslinien logisch aufeinander aufbauen und alle wichtigen Aufgabenfelder und Zielgruppen bedient werden – quasi von der Grundschule bis in die Promotionsphase hinein.

Wozu dieser Aufwand? Was treibt uns an, den Nachwuchs so engagiert zu fördern?

Der Zweck des DLR ist, Forschung, vorwiegend auf dem Gebiet der Luft- und Raumfahrt, zu betreiben. Dieser Zweck wird unter anderem verwirklicht durch die Förderung der Weiterbildung wissenschaftlicher Nachwuchskräfte im Zusammenwirken mit den wissenschaftlichen Hochschulen sowie anderen Wissenschafts- und Forschungseinrichtungen. – So steht es in der Satzung des DLR.

Die Satzung definiert die Nachwuchsförderung also als Aufgabe des DLR. Mit welchem Engagement wir das tun, kann sie nicht festlegen. Um dies zu dimensionieren, ist zu fragen, mit welcher Motivation wir uns mit Nachwuchsförderung und deren Inhalten befassen. Die Antwort scheint schnell gegeben. Das DLR hat ein eigenes Interesse vor allem mit Blick auf die Rekrutierung des wissenschaftlichen Nachwuchses. Doch das ist nicht der einzige und auch nicht der wesentliche Grund: Auch unsere Funktion in der Gemeinschaft unserer Partner aus Wissenschaft und Industrie ist uns ein wichtiger Antrieb. Und unsere gesamtgesellschaftliche Verantwortung. So wie das DLR in seinen fachlichen Arbeiten Lösungsansätze für die drängenden Fragen unserer Zeit erarbeitet, so wollen wir auch einen Beitrag zur Nachwuchssicherung unserer wissensbasierten Volkswirtschaft leisten. Das ist Teil unseres Auftrags und Selbstverständnisses, mit dem wir Wissen für morgen nicht als Selbstzweck, sondern zur Steigerung unser aller Lebensqualität generieren wollen – Teil der DLR-Kultur eben.

Die vor zwei Jahren vom DLR-Vorstandsvorsitzenden Prof. Johann-Dietrich Wörner initiierte Diskussion mit allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des DLR hat dies noch einmal bestätigt: Unser Selbstverständnis als Bildungseinrichtung und Ausbildungsbetrieb ist inzwischen auch formaler Bestandteil unserer Gesamtausrichtung und damit unserer Strategie. Was mit Amateurfunkgeräten begann, fand längst seine Fortsetzung in fantasievollen und Lehrpläne berücksichtigenden Schülerexperimenten. Das Konzept DLR_Campus gibt Raum für weitere Angebote an den Nachwuchs, den alle Beteiligten nutzen werden. Gemeinsam generieren wir Wissen für morgen.

Der Erfolg in der Nachwuchsförderung macht uns schon ein wenig stolz. Sie ist inzwischen ein intern und extern anerkannter Teil der DLR-Kultur. Ebenso wie die DLR-Kultur und -Strategie insgesamt, ist sie aber auch eine Aufgabe, an der wir stetig weiterarbeiten müssen und werden. ●

Maßgeschneiderte Energie-Lösung

Viele Geräte des täglichen Lebens geben Abwärme ungenutzt an das Umfeld ab. Thermoelektrische Materialien machen einen Teil dieser Abwärme nutzbar. Sie wandeln sie ohne Umwege direkt in Strom um. Das macht diese Materialklasse sehr interessant für einen effizienteren Ressourceneinsatz. Um dieses Ziel zu erreichen, investiert das DLR konsequent in die Weiterentwicklung der thermoelektrischen Energiewandlung.

Das DLR-Institut für Werkstoff-Forschung eröffnet TEG Line

Von Franz Büsing und Michel Winand

Rund drei Millionen Euro flossen in den Ausbau der Verfahrens- und Analysetechnik zur Entwicklung neuer thermoelektrischer Materialien und Module im Institut für Werkstoff-Forschung im DLR in Köln. Das Institut hat hierzu unter anderem ein neues Gebäude errichtet. Am 30. Juni 2011 wird es im Rahmen eines Kolloquiums eröffnet. Auf rund 400 Quadratmeter zusätzlicher Laborfläche entwickelt und erforscht das Institut thermoelektrische Materialien und Generatoren (TEG). Der Neubau wird alle Anlagen, Analyse- und Messtechniken beherbergen, die für die Entwicklung von thermoelektrischen Generatoren benötigt werden. „Damit bilden wir die gesamte Prozesskette von der Pulverherstellung über die Modulherstellung bis hin zum Test der Module unter einem Dach ab“, beschreibt Institutsdirektor Prof. Dr. Heinz Voggenreiter die in Deutschland einzigartige TEG Line.

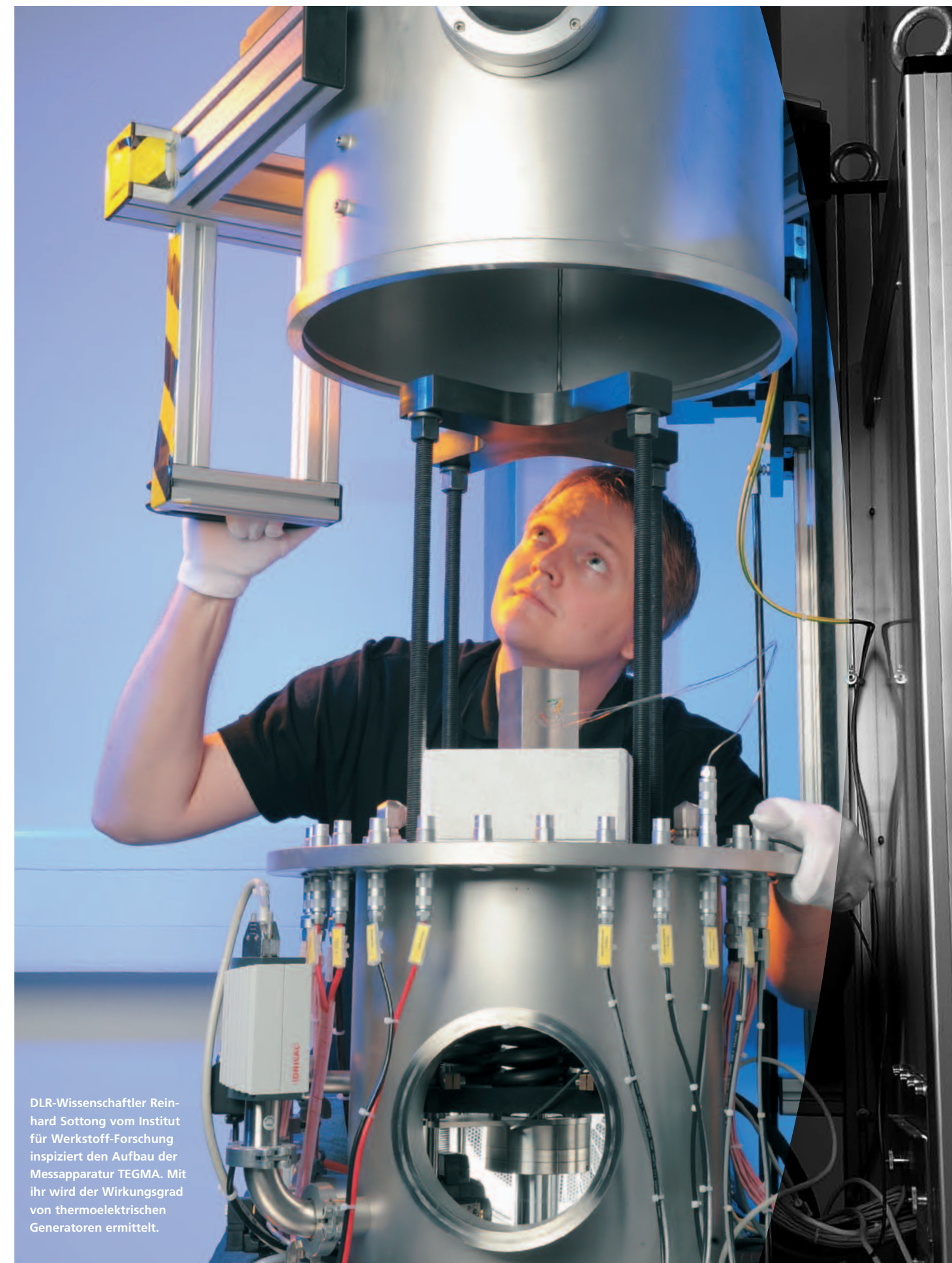
Neu und wesentlich ist die Variation und Anpassung der Qualität der Ausgangsmaterialien über die „Pulverroute“. Bei der sogenannten Gasverdüsung wird das schmelzflüssige Material gezielt zerstäubt. Dieser Vorgang liefert reines und feinkörniges Pulver im Kilogramm-Maßstab für den Laborbetrieb und für die Herstellung von Demonstratoren und Kleinstserien von TEG. „Über neue Verfahren zum Pressen von Pulvern und die Entwicklung einer serientauglichen Fügetechnik entstehen so die TEG-Module der nächsten Generation“, erläutert Dr. Eckhard Müller, Leiter der Abteilung Thermoelektrische Materialien und Systeme. Mit der eigens entwickelten Analyse- und Messtechnik könne die Optimierung des Wirkungsgrads und der Lebensdauer der neuen thermoelektrischen Werkstoffe unterstützt werden.

„Die geschlossene Prozesskette erlaubt es uns, Werkstoffe entsprechend von Kundenspezifikationen gezielt zu entwickeln und die nachfolgenden Schritte zur Modulherstellung an den jeweiligen Werkstoff anzupassen“, betont Dr. Peter Schorn, Projektleiter der TEG Line. „Das sichert einen zügigen und gezielten Transfer in die industrielle Nutzung.“

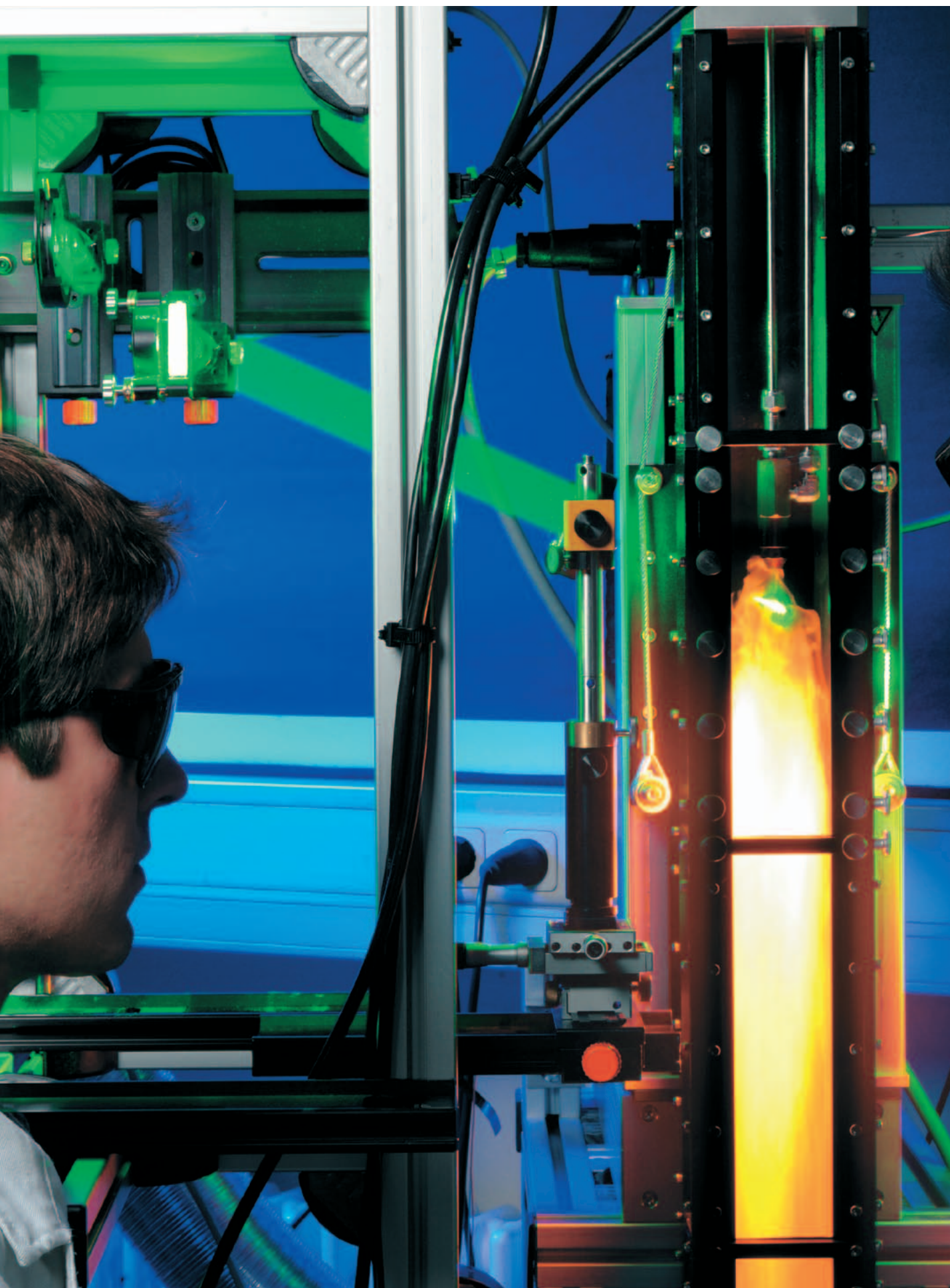
Die Wirkungsgrade heutiger TEG sind mit zwei bis fünf Prozent noch zu niedrig. Zudem lassen sie sich nur bei Temperaturen von maximal 250 Grad verwenden. Der Einsatz der TEG im Abgasstrang von Autos oder in heißen Bereichen von Verbrennungskraftmaschinen und Heizungen erfordert jedoch Wirkungsgrade von zehn Prozent und mehr bei Einsatztemperaturen von bis zu 400 Grad Celsius. Ein Auto könnte so bis zu fünf Prozent Treibstoff sparen.

„Vielleicht können wir bald sogar die im Wirkungsgrad ungünstige Lichtmaschine durch einen TEG ersetzen“, blickt Dr. Schorn in die Zukunft. Mehr als 20 Forscher und Entwickler – Wissenschaftler, Ingenieure und Techniker – werden diese Zukunft der thermoelektrischen Generatoren in den neuen DLR-Laboren zusammen mit Partnern aus Forschung und Industrie gestalten. ●

Weitere Informationen:
www.DLR.de/wf



DLR-Wissenschaftler Reinhard Sottong vom Institut für Werkstoff-Forschung inspiziert den Aufbau der Messapparatur TEGMA. Mit ihr wird der Wirkungsgrad von thermoelektrischen Generatoren ermittelt.



Flammen im Laserlicht

Das Herz eines Flugzeugtriebwerks ist seine Brennkammer. In ihr wird der Treibstoff mit Luft gemischt und verbrannt. Die dabei freigesetzte Energie treibt die Turbine an und sorgt für den Schub. Die Prozesse in der Brennkammer sind für die Effizienz, Zuverlässigkeit und Schadstoffbildung eines Triebwerks von zentraler Bedeutung. Insbesondere das Zündverhalten nach einem Triebwerksausfall in großer Höhe und die Verbrennungseigenschaften von alternativen Treibstoffen sind wichtige Forschungsthemen. Am Stuttgarter DLR-Institut für Verbrennungstechnik untersuchen Forscher mittels modernster Hochgeschwindigkeitsvideo- und Lasermessverfahren den Übergang vom Zündfunken zur stabilen Flamme.

DLR-Forscher untersuchen die Zündung herkömmlicher und alternativer Treibstoffe für die Luftfahrt

Von Gregor Gebel und Dr. Thomas Mosbach

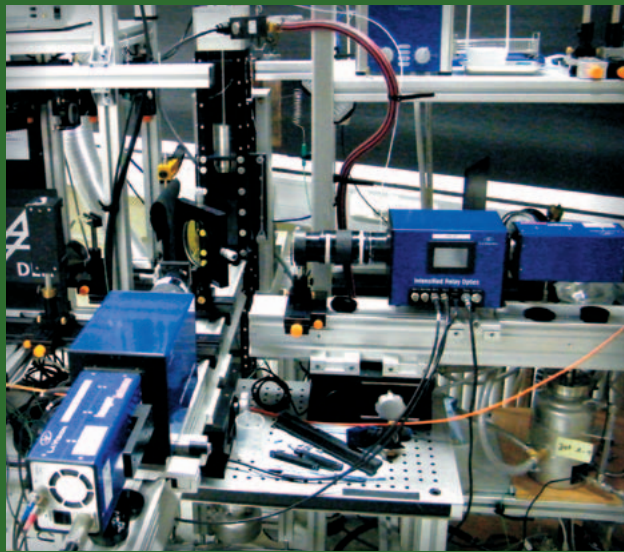
Sicherheit hat oberste Priorität in der Luftfahrt. Deshalb müssen Flugtriebwerke auch in Reiseflughöhe nach einem Triebwerksausfall zuverlässig neu starten. Dort ist die Luft mit minus 55 Grad Celsius sehr kalt, der Luftdruck beträgt nur ein Fünftel des Drucks am Erdboden. Ungünstige Bedingungen also, um eine Flamme zu zünden. Die wachsenden Ansprüche an die Umweltverträglichkeit des Luftverkehrs setzen zusätzliche Hürden. Soll die Schadstoffbildung merklich gesenkt werden, müssen neuartige Brennkammerkonzepte entwickelt werden. Besonders vielversprechend sind sogenannte Magerverbrennungskonzepte. Hierbei wird der Treibstoff mit sehr viel Luft vermischt, mehr als für eine vollständige Verbrennung eigentlich notwendig ist. Dadurch sind die Verbrennungstemperaturen gegenüber denen herkömmlicher Brennkammern niedriger. Infolgedessen ist die Bildung von Stickoxiden, die verstärkt bei höheren Temperaturen entstehen, deutlich geringer.

Weniger Schadstoffe – komplexere Technik

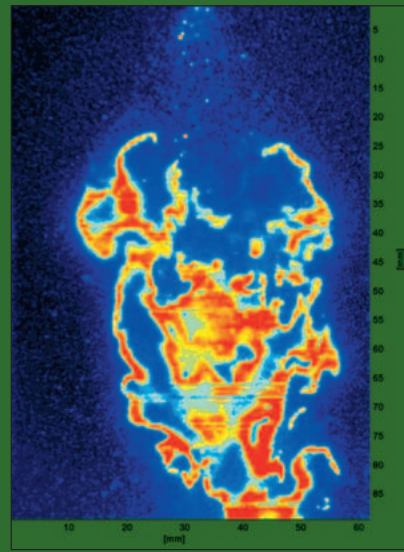
Die Magerverbrennung birgt jedoch einen großen Nachteil: Das Verhältnis von Treibstoff zu Luft kann während eines Teillastbetriebs so klein werden, dass eine stabile Verbrennung nicht mehr gewährleistet ist. Die Flamme brennt dann sehr nahe an ihrer Verlöschgrenze. Deswegen sind Magerbrennkammern mit zwei Brennerstufen ausgestattet, den Hauptbrennern und den Pilotbrennern. Die Hauptbrenner dienen der Leistungseinstellung des Triebwerks, während die Pilotbrenner dauerhaft in Betrieb sind, um ein Verlöschen der Flamme zu verhindern. Im Gegensatz dazu besitzen herkömmliche Brennkammern nur eine Brennerstufe. Die Vorteile einer Magerverbrennung hinsichtlich der Schadstoffemissionen werden also mit einer höheren technischen Komplexität erkaufte.

Bislang gelingt es den Triebwerksherstellern, die Forderung nach Wiederezündbarkeit bei neu entwickelten Brennkammern mit Hilfe umfangreicher Testreihen zu gewährleisten. Dazu werden in Versuchsanlagen die Umgebungsbedingungen erzeugt, die auch in großen Höhen herrschen. Unter diesen Bedingungen werden Zündungstests bei verschiedenen Betriebsparametern

In der Versuchsbrennkammer wird die Zündung von Luftfahrttreibstoffen erforscht



Experimenteller Aufbau zur Untersuchung der Sprayzündung mittels laserinduzierter Fluoreszenz



Schnittbild durch eine Sprayflamme von Kerosin. Die Flammenfronten sind durch laserinduzierte Fluoreszenz sichtbar.

der Brennkammer durchgeführt. Ergeben die Tests in einem vorgegebenen Parameterbereich zuverlässig eine stabile Flamme, ist das Ziel erreicht. Anderenfalls sind Nachbesserungen und anschließend weitere Tests notwendig. Mit dieser Methode lässt sich eine Magerbrennkammer kaum noch wirtschaftlich entwickeln. Denn durch ihre Komplexität wären sehr umfangreiche Testreihen notwendig, wodurch die Entwicklungskosten steigen würden.

In Zukunft sollen daher Computersimulationen die Testreihen ergänzen und damit den Aufwand reduzieren. Eine große Anzahl physikalischer und chemischer Phänomene ist in diesen Simulationen zu berücksichtigen. Besonders anspruchsvoll wird es, wenn die Zündung und die anschließende Flammenstabilisierung detailliert vorhergesagt werden sollen. Um solche Simulationen erstellen zu können, ist ein tief gehendes Verständnis der relevanten Phänomene notwendig. Dafür sind viele Fragen zu beantworten. Wie verläuft der Übergang von einem Zündfunken zu einem Flammenkern? Wie schnell wächst die Flamme? Warum stabilisiert die Flamme sich manchmal und manchmal nicht?

In 20 Millisekunden zur stabilen Flamme

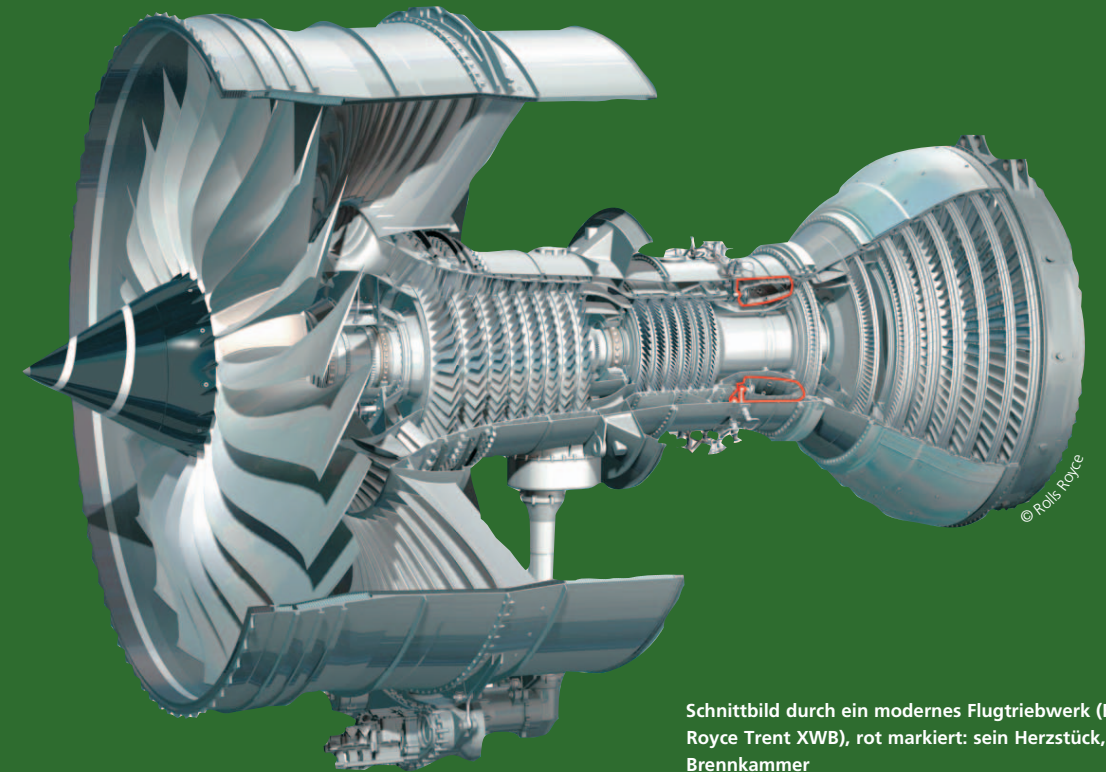
Im Sprayflammenlabor in Stuttgart steht eine Versuchsanlage für Zündungsuntersuchungen an flüssigen Treibstoffen, wie dem in der Luftfahrt gebräuchlichen Kerosin. Das Kernstück dieser Anlage ist eine optisch gut zugängliche Brennkammer. Eine Besonderheit dieser Versuchsanlage ist, dass in ihr die Startbedingungen der Versuche exakt festgelegt und eingehalten werden können. Die während der Zündung ablaufenden Phänomene können damit sehr genau und beliebig oft untersucht werden. Grundlegende Eigenschaften dieser Brennkammer entsprechen denen, die in Triebwerken eingesetzt werden. So wird der Treibstoff von einer Spraydüse in eine Luftströmung eingesprüht. Unterschiedlich ist vor allem die Form: Die Versuchsbrennkammer selbst ist ein Kanal mit einem einfachen rechteckigen Querschnitt, während Triebwerksbrennkammern komplizierte Geometrien besitzen. Durch diese und weitere Vereinfachungen wird der Zündungsvorgang auf die wesentlichen Phänomene reduziert. Diese lassen sich so gezielt erfassen.

Die Zündungen erfolgen mit einem gebündelten Laserstrahl, der für einen sehr kurzen Augenblick unter der Spraydüse einen Funken erzeugt. Die Verwendung eines Lasers anstelle einer elektrischen Zündkerze erlaubt es, Startzeitpunkt und -ort der Zündung mit hoher Genauigkeit festzulegen. Außerdem wird die Sicht auf das Zündungsgebiet nicht versperrt. Somit lassen sich die Vorgänge ungestört beobachten. Die Zeitspanne zwischen Laserpuls und Stabilisierung der Flamme beträgt lediglich 20 Millisekunden. Zum Vergleich: Menschliche Wimpernschläge dauern etwa 100 bis 200 Millisekunden.

Um die ablaufenden Phänomene im Detail zu erfassen, werden verschiedene Messverfahren eingesetzt. Die meisten davon sind optische oder laserbasierte Verfahren. Ein Beispiel für ein optisches Verfahren ist die Hochgeschwindigkeitslumineszenzaufnahme. Dabei wird das Flammenleuchten von digitalen Hochgeschwindigkeitskameras mit 3.000 Bildern pro Sekunde gefilmt. Ein weiteres in der Verbrennungsdiagnostik übliches, laserbasiertes Messverfahren ist die Beobachtung von laserinduzierter Fluoreszenz. Hier wird die ultraviolette Strahlung eines Farbstofflasers zu einem Lichtband geformt und durch Fenster der Versuchsbrennkammer geleitet. Die Wellenlänge der Laserstrahlung wird so eingestellt, dass nur eine bestimmte Molekülsorte in der Flamme auf die Strahlung reagiert. Die Moleküle absorbieren die Strahlung und geben daraufhin ihrerseits Strahlung im ultravioletten Wellenlängenbereich ab. Diese lässt sich mit Hilfe eines empfindlichen Kamerasystems detektieren. Das Ergebnis ist ein Schnittbild durch die Flamme, das die Verteilung der Moleküle zu einem bestimmten Zeitpunkt zeigt. Für die spätere Auswertung und Interpretation müssen die aufgenommenen Kamerabilder mit Hilfe spezieller Computersoftware aufbereitet werden. Kameraspezifische Aufnahmeeigenschaften und Bildverzerrungen, die durch den Sichtwinkel und durch Störeffekte in den Optiken entstehen, werden korrigiert.

Über die Flammenfront genau im Bilde

In der anschließenden Analyse kommen verschiedene statistische Verfahren und Filter sowie Mustererkennungs- und Verfolgungsroutinen zum Einsatz. Aus den Hochgeschwindigkeitsaufnahmen eines Zündungsvorgangs können somit bei-



Schnittbild durch ein modernes Flugtriebwerk (Rolls-Royce Trent XWB), rot markiert: sein Herzstück, die Brennkammer

spielsweise Position, Geschwindigkeit und Größe eines Flammenkerns zu verschiedenen Zeitpunkten bestimmt werden. Die Beobachtung von laserinduzierter Fluoreszenz ist ein hochgenaues Messverfahren und kann selbst geringe Konzentrationen einer bestimmten Molekülsorte nachweisen. So können auch die Verbrennungsradikale, das sind Moleküle, die als Zwischenprodukte einer Verbrennung gebildet werden, beobachtet werden. Die Verteilung dieser Radikale spiegelt die Reaktionsgebiete einer Flamme, die Flammenfronten, wider. Anhand des äußeren Verlaufs einer Flammenfront lässt sich die Ausdehnung einer Flamme sehr genau bestimmen. Da außerdem die Belichtungsdauer bei laserinduzierter Fluoreszenz extrem kurz ist, können mit ihr Verbrennungsreaktionen mit hoher zeitlicher Auflösung abgebildet werden.

Doch die Stuttgarter Forscher interessieren sich nicht nur für die Zündung von Kerosin. Auch die detaillierte Untersuchung der Zündungs- und Verbrennungseigenschaften neuartiger Treibstoffe, die nicht aus Erdöl gewonnen werden, ist ein wichtiges Thema. Das knapper werdende Erdöl als Ausgangsstoff für das herkömmliche Kerosin hat in den vergangenen Jahren die Suche nach Alternativen immer dringlicher gemacht. Interessante Kandidaten werden aus Erdgas (Gas-to-Liquid, GtL), Kohle (Coal-to-Liquid, CtL) und Biomasse (Biomass-to-Liquid, BtL) gewonnen. Man bezeichnet sie meistens als alternative Treibstoffe. Andere Namen sind Fischer-Tropsch-Treibstoffe oder synthetische Treibstoffe. Sie werden über das nach seinen Erfindern benannte Fischer-Tropsch-Syntheseverfahren produziert, bei dem zunächst die Ausgangsstoffe durch verschiedene Verfahren zu Synthesegas (bestehend aus Wasserstoff und Kohlenmonoxid) und im nächsten Schritt zu flüssigen Kohlenwasserstoffen (überwiegend mittel- bis langkettige Alkane) umgewandelt werden.

Alternative Treibstoffe in Reinform oder als Kerosinzusätze müssen zahlreiche Anforderungen erfüllen, um eine Zulassung für den Einsatz in der Luftfahrt zu erhalten. Insbesondere dürfen sie sich nicht negativ auf die Sicherheit auswirken. Daneben sollen sie Eigenschaften aufweisen, die den Einsatz in bereits existierenden Flugzeugen und Triebwerken erlauben. Ein alternativer

Treibstoff muss zum Beispiel, ebenso wie Kerosin, eine hohe Energiedichte aufweisen und selbst bei sehr niedrigen Umgebungstemperaturen noch flüssig sein.

Die aus den Versuchen gewonnenen Erkenntnisse dienen neben der Vertiefung des Verständnisses auch dazu, die Computermodelle zu überprüfen, mit denen später die Zündungen und Verbrennungen in Flugtriebwerken simuliert werden sollen. Die Entwicklung von schadstoffarmen Brennkammern wird so erheblich erleichtert: Den Triebwerksherstellern wird es wesentlich schneller gelingen, Brennkammern zu entwickeln, die einerseits wenig Schadstoffe produzieren und andererseits die hohen Ansprüche an die Sicherheit erfüllen. Da die Computermodelle viele Eigenschaften der Treibstoffe abbilden, wird es ferner möglich sein, die im Fischer-Tropsch-Verfahren hergestellten alternativen Treibstoffe für den Einsatz in der Luftfahrt zu optimieren.

Viel ist in Stuttgart bereits erreicht worden. Insbesondere die Zündung von Kerosin wurde in den vergangenen Jahren ausgiebig untersucht. Demnächst wird das Hauptaugenmerk verstärkt auf den alternativen Treibstoffen liegen. Wie ist das Zündverhalten im Vergleich zu Kerosin? Wie hoch ist ihr Potenzial bezüglich der Verringerung von Schadstoffemissionen? Die Ergebnisse der ersten Versuche stimmen optimistisch: Die Rußbildung ist deutlich geringer als bei Kerosin. ●

Autoren:

Dr. Thomas Mosbach und Dipl.-Ing. Gregor Gebel bearbeiten im DLR-Institut für Verbrennungstechnik in Stuttgart das Thema Wiederzündung in großen Höhen. Auf der experimentellen Untersuchung der Verbrennung von Luftfahrttreibstoffen mit optischen und laserbasierten Messverfahren liegt ein Schwerpunkt ihrer wissenschaftlichen Tätigkeit.

Weitere Informationen:

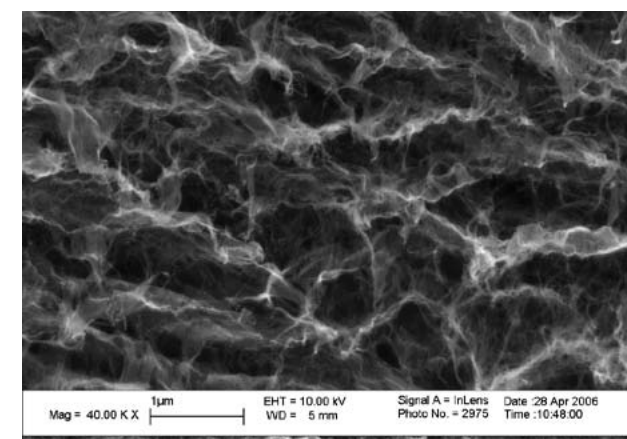
www.DLR.de/vt

Geheimnisvolles Multitalent

Sie haben etwas Geheimnisvolles, wirken auf den ersten Blick wie Nebel oder Rauch, sind aber dennoch ein Feststoff. Die Rede ist von Aerogelen. Das Material ist überaus leicht, dämmt den Schall und verhindert rasche Wärmeabstrahlung. Einige Sorten sind nahezu lichtdurchlässig, wodurch sie optisch wie eine Projektion oder ein Hologramm wirken. Das Anwendungsspektrum von Aerogelen ist breit und noch lange nicht vollständig erschlossen. Das macht sie zu einem besonderen Thema für das DLR-Technologiemarketing. Es unterstützt die Entwicklung von Aerogelprodukten für unterschiedliche industrielle Märkte.

Aerogele bergen viele Eigenschaften in sich. Das macht sie für das DLR-Technologiemarketing äußerst interessant.

Von Prof. Dr. Dr. h.c. Lorenz Ratke und Tilmann Tack



Aerogele können aussehen, als wären sie gefrorener Rauch, hier zu sehen an einem Kohlenstoffaerogel, das aus einem Zelluloseaerogel durch Wärmebehandlung bei 1.000 Grad Celsius unter Luftabschluss erzeugt wurde

Typische dreidimensionale Vernetzung in einem Aerogel, dargestellt an einem Kunststoffaerogel. Teilchen mit Größen von wenigen Nanometern bis zu einem Mikrometer sind über Kontaktstellen miteinander vernetzt.

Der Hauptbestandteil von Aerogelen ist Luft. Diese ist von einem äußerst filigranen, festen Netzwerk umgeben. Es lassen sich Aerogele herstellen, die eine nur dreimal so hohe Dichte haben wie Luft, aber trotzdem in der Lage sind, das über Eintausendfache ihres Eigengewichts zu tragen. Sie zählen damit zu den leichtesten Feststoffen überhaupt. Aerogele haben viele interessante und nützliche Eigenschaften, die einzeln betrachtet auch in anderen Materialien zu finden sind. So besitzen manche Quarzglas-Aerogele eine hohe Transparenz, die der von Glas nahekommt, eine Wärmeleitfähigkeit niedriger als Styropor- oder Polyurethan-Schäume oder sehr hohe spezifische Oberflächen, die man auch in Aktivkohle oder Carbon-Nanotubes findet. Einzigartig aber ist die Kombination dieser vielfältigen physikalischen Eigenschaften in einem Material, das noch dazu verschiedene chemische Zusammensetzungen haben kann. Dadurch werden wichtige Aspekte für unterschiedlichste Anwendungen vereint, beispielsweise für die Wärmedämmung, für optische Anwendungen, Sensoren, Katalysatoren oder Katalysatorträger.

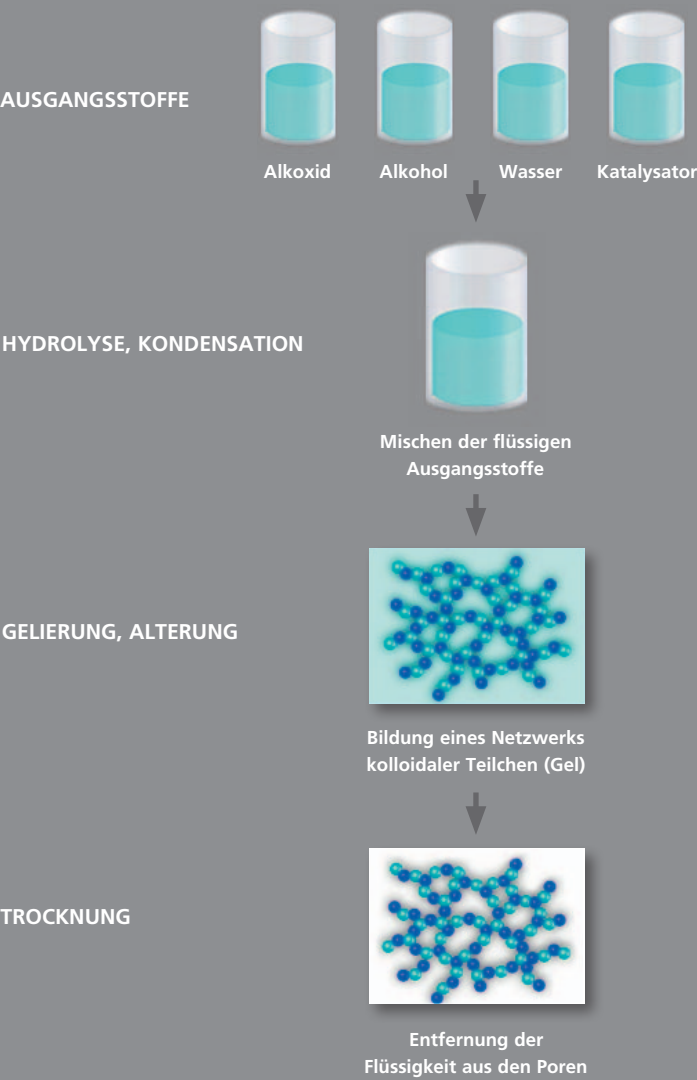
Wer glaubt, Aerogele seien ein Produkt der Forschung aus der heutigen Zeit, der irrt. Die ersten wissenschaftlichen Arbeiten zur Herstellung von Aerogelen datieren aus den Dreißigerjahren. Schon damals wurde von ihrem Erfinder erkannt, dass man aus allem, was sich gelieren lässt, auch ein Aerogel machen kann. Die Herausforderung besteht darin, das Netzwerk aus Feststoffen im nassen Gel durch spezielle Trocknungsverfahren in seiner Grundstruktur zu erhalten und die Flüssigkeit aus dem System zu eliminieren, ohne dass die Struktur schrumpft. Eine bereits im frühen Forschungsstadium erkannte Lösung führte zum Erfolg – die überkritische Trocknung. Sie muss in einem Autoklaven unter hohen Drücken (circa 100 bar) und Temperaturen etwas oberhalb der Raumtemperatur durchgeführt werden. Die Nachteile: großer Aufwand und hohe Kosten.

Die Forscher haben jedoch im Laufe der Geschichte bei den Herstellungsverfahren große Fortschritte erzielt. Dennoch ist die Verwendung von Aerogelen in Produkten eher als gering bis überschaubar einzuschätzen. Der Schlüssel für neue Produkte

WAS SIND AEROGELE?

Aerogel ist ein allgemeiner Überbegriff für hochporöse Festkörper, bei denen bis zu 99,98 Prozent des Volumens aus Poren bestehen. Es gibt verschiedene Arten von Aerogelen, die sich aus unterschiedlichen Ausgangssubstanzen herstellen lassen. Die unterschiedlichen physikalischen Eigenschaften der einzelnen Aerogele und ihre Reaktivität sind maßgeblich von der Art, Form und Größe der Poren abhängig. Das Herstellungsverfahren und die Ausgangssubstanzen bestimmen den besonderen Aufbau des gesamten Netzwerks aus Poren und Feststoff. Aerogele auf Silicatbasis werden am häufigsten hergestellt und verwendet.

Für viele Anwendungen können Aerogele auch auf Kunststoff- oder Kohlenstoffbasis aufgebaut sein. Im Prinzip lassen sich jedes Metalloxid, Polymer und auch diverse andere Stoffe als Ausgangsbasis für die Aerogelsynthese mittels eines sogenannten Sol-Gel-Prozesses heranziehen. Das ungeordnete, verzweigte dreidimensionale Gelnetzwerk entsteht üblicherweise durch Kondensation kolloider Partikel.



Aerogele werden über einen Sol-Gel-Prozess hergestellt. Die dargestellten Ausgangssubstanzen werden gemischt, bis eine klare Flüssigkeit entsteht. Diese lässt man „ruhen“, bis sich ein Gel bildet, das eine Konsistenz wie ein Wackelpudding aufweist. Der Prozess der Gelbildung erfolgt durch das chemische Reagieren der Ausgangssubstanzen miteinander. Es bilden sich Teilchen, die sich in der Flüssigkeit bewegen, aneinanderstoßen und vernetzen. Wenn sich solche vernetzten Strukturen über das gesamte Gefäß ausbreiten, entsteht ein Gel. Entfernt man aus den Poren dieses nassen Gels die Flüssigkeit, so erhält man ein Aerogel.

am Markt, die auf Aerogelen basieren, und ein noch breiteres Anwendungsspektrum dieser außergewöhnlichen Materialien in Produkten unseres Alltags sind kostengünstige und effiziente Herstellungsverfahren.

Im DLR-Institut für Materialphysik im Weltraum wird deshalb sowohl an neuen Aerogelen und Aerogelverbundwerkstoffen geforscht als auch an besseren, kostengünstigen Herstellungsverfahren gearbeitet. Was die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter des DLR dabei antreibt, sind auch die Anwendungen auf verschiedenen Themenfeldern des DLR, sei es als Superisolationen in der Raumfahrt, in der Energietechnik, im Leichtbau, im Verkehr oder auch als Matrixmaterial für künstliche Knochen. Auch für verschiedene industrielle Sektoren, wie die Gießereitechnik sind Aerogele hochinteressant.

Aerogele werden in verschiedenen Formen gefertigt – meist als Platten oder Granulate. Die Granulate lassen sich zum Beispiel als Schüttgüter zur Isolation verwenden oder als zusätzlicher Bestandteil in Glasfasermatten, Textilien oder Mineraldämmwolle. Die heute meist verwendeten Granulate auf Silikatbasis sind spröde, sodass sie bei Belastungen bröseln und feinste Stäube freisetzen. Diese Eigenschaften kann man aber durch die spezifische Wahl der Ausgangssubstanz und Porenstruktur verändern, um auch reversible Umformungen eines Werkstücks zuzulassen. Aerogele auf Basis von Zellulose, aber auch Quarzglas lassen sich flexibel wie Gummi gestalten, wenn man an der Ausgangssubstanz einige kleinere chemische Änderungen vornimmt. Aerogele können auch mit zusätzlichen Funktionen versehen werden: Die Oberfläche kann beispielsweise stark hydrophob gestaltet werden, indem man die in Glasaerogelen üblichen OH-Gruppen durch Methylgruppen austauscht. Aerogele mit magnetischen Eigenschaften erhält man durch chemische Gasphasenabscheidung magnetischer Schichten im Porenraum eines Aerogels.

Die Kombination der vielen nützlichen Eigenschaften in einem Werkstoff macht Aerogele für eine breite Palette von Anwendungen interessant. Dies betrifft sowohl ganz spezielle Anwendungen, für die kein Alternativwerkstoff mit den geforderten Eigenschaften existiert, als auch Standard- bzw. Massenanwendungen, für die Aerogele technisch und wirtschaftlich überzeugen. Insbesondere bei Aerogelkompositmaterialien, aber auch für neuartige Aerogel-Sorten und kostengünstige Herstellungsverfahren besteht noch erheblicher Forschungs- und Entwicklungsbedarf. Eines indessen scheint sicher: Wenn Forschung, Entwicklung und Technologietransfer Hand in Hand gehen, hat das geheimnisvolle Material das Zeug dafür, in nächster Zeit mit weiteren Anwendungen zu überraschen. ●

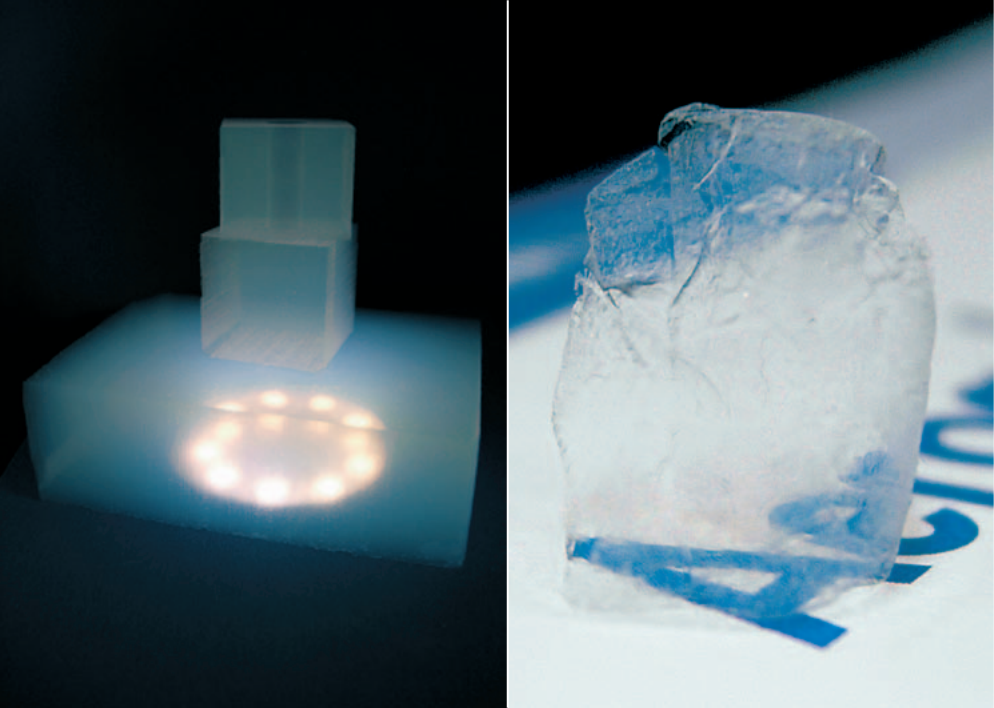
Autoren:

Prof. Dr. Dr. h.c. Lorenz Ratke ist stellvertretender Leiter des DLR-Instituts für Materialphysik im Weltraum. Seine Forschungsschwerpunkte sind Aerogele und Aerogelverbundwerkstoffe.

Tilman Tack ist wissenschaftlicher Mitarbeiter im DLR-Technologiemarketing. Er analysiert Zukunftsmärkte und das Potenzial für technologische Innovationen auf Basis von DLR-Know-how.

Weitere Informationen:

www.DLR.de/mp
www.DLR.de/tm



Aerogele können wie gefrorener Nebel oder Rauch wirken, hier das Beispiel eines Aerogels aus Quarzglas

Aerogele aus Quarzglas lassen sich auch transparent herstellen

ANWENDUNGEN, BEI DENEN DAS DLR AKTIV IST

GUSSFORMEN

Fest müssen sie sein, thermische und mechanische Belastungen beim Gießen aushalten und glatte Oberflächen haben. Die Formen, oft aus Sand, dürfen kein Korn in das Gussstück entlassen und nicht von Schmelze penetriert werden. Die Gießereizulieferindustrie hat Binder für jeden Sandtyp und unterschiedliche Gussaufgaben entwickelt. Gussqualität und Produktivität lassen sich jedoch durch Aerogele deutlich verbessern: Geringe Zusätze von Aerogelgranulaten zum Sand machen das Gussteil weniger rau und erleichtern das Herauslösen der Gusskerne. Das DLR hat hierzu viele Patente erarbeitet und kooperiert mit Gießereien.

AEROGELBETON

Dieser Baustoff, der im DLR in den letzten Jahren entwickelt wurde, entsteht durch Dispergierung von superhydrophobem Aerogelgranulat mit gewöhnlichen Betonmischungen. Aerogelbeton ist sehr leicht und die Wärmetransmission kann um das Achtfache gegenüber gewöhnlichem Beton bei gleicher Dicke reduziert werden. Weitere Vorteile sind der sehr gute Brandschutz und die gute Schalldämmung. Hier wird vom DLR zurzeit mit mehreren Baustoffherstellern zusammengearbeitet, um das Konzept des Aerogelbetons in die industrielle Praxis zu überführen.

SUPERISOLATION

In der Raumfahrt könnten Aerogele bei der Isolierung von Kryotanks helfen. Bei Tanks für flüssigen Wasserstoff oder Sauerstoff werden meist Polyurethanschäume eingesetzt (Haupttank am Shuttle), die allerdings bei tiefen Temperaturen spröde werden. Die Isolationseigenschaften können bis zum Faktor fünf verbessert werden. Am DLR werden flexible Aerogele auf Quarzglasbasis erprobt. Sie sollen in Kooperation mit Partnern aus Europa für die Raumfahrt fit gemacht werden.

ENERGIETECHNIK

Hierzu werden im DLR mit Hilfe von Aerogelen neue Verbundwerkstoffe entwickelt. Dabei geht es vor allem um Werkstoffe, bei denen Aerogelgranulate in das faserverstärkte Material eingebettet werden. Diese Materialien leiten die Wärme nur geringfügig weiter, sind aber mechanisch stabil und können nicht so leicht zusammengedrückt werden wie filzartige Werkstoffe.

WEITERE EINSATZGEBIETE

BAUSTOFF- UND DÄMMATERIAL

Aufgrund der hervorragenden Wärmeisolations- und Schalldämmeigenschaften können Aerogele als Aerogelbeton oder auch in **Vakuumdämmplatten** eingesetzt werden. Innerhalb der Platten fungieren Aerogele als feste Abstützung und verhindern sowohl Konvektion als auch die Transmission von Infrarotstrahlung. Der Nachteil: Solche Platten haben eine feste Größe, man kann sie nicht zuschneiden.

Auch die Ölindustrie nutzt bereits Aerogele in Isoliermaterialien. Das geförderte Öl würde ohne **Isolierung der Seepipelines** aufgrund der niedrigen Temperatur des Meerwassers seine Viskosität verlieren und klumpen.

Aerogele mit geringem Brechungsindex sind nahezu durchsichtig. Sie können **Fenstern** einzigartige Wärmeisolationseigenschaften verleihen. Sie werden aber auch als rein optisches Element in der **Architektur** verwendet, da sie eingebracht als Granulate zum Beispiel in Doppelstegplatten das Licht diffus streuen und sogenannte Schlagschatten verhindern.

TEXTILINDUSTRIE

In **Schuhen** oder **Outdoorjacken** können Aerogele ebenfalls als Isoliermedium eingesetzt werden. Hier werden superhydrophobe Aerogelgranulate in textile Filze oder Gewebe dispergiert. Bei Belastung durch den menschlichen Körper verdichtet sich zwar der Filz, doch die Aerogelteilchen kommen dichter zusammen und erhöhen dadurch die Isolationswirkung deutlich.

PHARMAZIE

Aerogele können als Trägermaterialien in Medikamenten verwendet werden. Im Porenraum von Aerogelen lassen sich viele Wirkstoffe einbringen, ohne dass diese kristallisieren. In solch amorpher Form werden die Wirkstoffe schneller und vollständig gelöst vom Körper aufgenommen. Aerogele aus Zellulose, Alginaten oder Stärke sind herausragende Medikamententräger.

ELEKTROTECHNIK UND ELEKTROCHEMIE

Kohlenstoff-Aerogele mit hoher elektrischer Leitfähigkeit und Stabilität spielen eine große Rolle in der Materialforschung für Elektrodenmaterial in Primär- und Brennstoffzellen, Fahrzeugkatalysatoren sowie in Superkondensatoren. Interessant ist auch hier die riesige reaktive Oberfläche von Aerogelen, die auf kleinstem Volumen untergebracht ist. In der Sensorik können Aerogele z. B. aufgrund ihrer Fähigkeit, Wassermoleküle zu adsorbieren, in Feuchte-sensoren eingesetzt werden.

RAUMFAHRT UND HOCHENERGIEPHYSIK

Durch ihre Feinstruktur sind Aerogele auch als **Auffangmatrix für kleinste Staubbpartikel** einsetzbar. Sie wurden deshalb auch an Bord der Kometenstaub-Raumsonde „Stardust“ verwendet. Die eingefangenen Staubbpartikel und Moleküle werden so langsam abgebremst, dass sie thermisch nicht zerstört werden. So gelang es u. a., das erste Mal unbeschadet Material eines Kometen zur Erde zu bringen.

In der Hochenergiephysik werden **Aerogele als Detektoren** für Cerenkov-Strahlung verwendet.

Regionalmeldungen

Braunschweig: Flugversuche für das Passagierflugzeug der Zukunft

Die Flugeigenschaften von Nurflügel-Konfigurationen in der Form eines Rochens sind im DLR Braunschweig getestet und bewertet worden. Dazu nutzten die Wissenschaftler das Forschungsflugzeug ATTAS (Advanced Technologies Testing Aircraft System), den Verwandlungskünstler in der DLR-Forschungsflotte.

Bei dieser Art Versuche fliegt der Pilot ein Flugzeug, das aussieht wie eine kleine Passagiermaschine, hat aber trotzdem das Gefühl, in einem Fluggerät zu sitzen, dessen Rumpf auch gleichzeitig der Flügel ist. Neben der herkömmlichen mechanischen Steuerung ist ATTAS zusätzlich mit einem elektrischen Flugsteuerungssystem ausgestattet. So können die Wissenschaftler mit Hilfe spezieller Hard- und Software in die Steuerung eingreifen und dem ATTAS Flugeigenschaften und Flugverhalten ganz anderer Luftfahrzeuge verleihen.

Beim Nurflügler ersetzen zwei leicht nach außen geneigte vertikale Stabilisatoren am Heck die herkömmliche Kombination aus Höhen- und Seitenruder. Unter den zusätzlich vorhandenen Tragflächen befinden sich vier Triebwerke. Die besondere Form optimiert die Auftriebs Eigenschaften des Fluggeräts und macht es wirtschaftlicher.

Das verwendete Modell des Nurflüglers basiert auf einem Entwurf, der im Rahmen des EU-Projekts NACRE (New Aircraft Concepts Research) entwickelt wurde. Es handelt sich um ein Großraumflugzeug für lange Strecken mit Platz für bis zu 750 Passagiere, bei einer Länge von 65 Metern und einer Spannweite von fast 100 Metern. Während der Testflüge untersuchten die Wissenschaftler unter anderem die Flugeigenschaften in verschiedenen Fluglagen. Es zeigte sich, dass der Nurflügler aufgrund seiner besonderen Form nur mit einem am DLR entwickelten zusätzlichen Regelungssystem gut steuerbar ist.

<http://s.DLR.de/hw6p>



So könnte das Passagierflugzeug der Zukunft aussehen: Die vom DLR-Forschungsflugzeug ATTAS jetzt im Flug simulierte Nurflügelkonfiguration

Berliner Wissenschaftler forschen an leiseren Triebwerken



Der Heiß-Akustik-Teststand in Berlin wird eröffnet: Mit dabei, v.l.n.r.: Professoren Lars Enghardt (DLR), Dieter Peitsch (TU Berlin), Rolf Henke (DLR), Reinhard Mönig (DLR) und Jörg Steinbach (TU Berlin)

Ein Heiß-Akustik-Teststand (HAT) zur Erforschung leiserer und effizienterer Triebwerke ist seit März in Berlin in Betrieb. Forscher des DLR und der TU Berlin haben nun die Möglichkeit, die Komponenten von Triebwerken beziehungsweise Gasturbinen genauer zu untersuchen. Während ihres Einsatzes sind diese Komponenten hohen Temperaturen und Druckbelastungen ausgesetzt. Im Fokus der Untersuchungen stehen die Kühlung und die akustische Dämpfung. Ziel dieser Forschung ist die Entwicklung umweltfreundlicher, effizienterer und leiserer Flugzeugtriebwerke sowie stationärer Gasturbinen, die man zum Beispiel in Kraftwerken zur Stromerzeugung verwendet. Die modernen, schadstoffärmeren Luft-Kerosin-Gemische sind zwar umweltfreundlicher, verursachen aber stärkere akustische Schwingungen und führen so zu einer höheren Lärmemission, während gleichzeitig weniger Luft für Kühlfunktionen und akustische Dämpfung zur Verfügung steht.

Gegenüber den bereits existierenden Prüfständen zeichnet sich der neue HAT durch seinen modularen Aufbau, seine fortschrittliche Messtechnik und die in einem weiten Bereich einstellbaren Betriebsbedingungen aus. Das bedeutet, dass diese einen statischen Druck von bis zu zehn Bar und eine Lufttemperatur bis etwa 550 Grad Celsius abdecken. Der erzeugte Druck ist um ein Zehnfaches höher als der normale Umgebungsdruck. Mit den 550 Grad Celsius wird die Temperatur erreicht, die beim Komprimieren der Luft im Triebwerk vor der Brennkammer entsteht. Bislang konnten diese Untersuchungen nicht unter solchen Bedingungen durchgeführt werden, sodass die Wissenschaftler keinen umfassenden Einblick bekommen konnten. Nun sind die Forscher optimal ausgerüstet.

<http://s.DLR.de/s202>

Leichterer Zugang zu Fernerkundungsdaten



Der ländlich geprägte Raum um den Flughafen Berlin Brandenburg International (BBI) nach einem Datensatz, der am 19. Oktober 2009 durch den Satelliten CHOROS (RapidEye 4) erhoben wurde

Wie Daten unterschiedlicher Satelliten für die Fernerkundung kombiniert werden können, war eines der Themen, die auf einem DLR-Workshop in Neustrelitz diskutiert wurden. Mehr als 60 Wissenschaftler aus Universitäten, Forschungseinrichtungen und Unternehmen beschäftigten sich mit der wissenschaftlichen Auswertung von Daten des deutschen Satellitensystems RapidEye. Für die wissenschaftliche Betreuung der Nutzer gibt es das Rapid Eye Science Archive (RESA). Das DLR in Neustrelitz ist mit der Projektleitung von RESA beauftragt, was auch die Archivierung dieser Daten einschließt.

Die Zahl der bisher in Deutschland unterstützten Projekte unter Auswertung von Rapid Eye-Daten beträgt 61. Die Hälfte davon dient dazu, Umweltressourcen in ausgewählten Untersuchungsgebieten von Europa, Afrika, Amerika und Asien unter wissenschaftlichen Fragestellungen zu überwachen. Der erleichterte Zugang für die wissenschaftliche Nutzung von Fernerkundungsdaten wird auch durch die Datenpools von TerraSAR-X und TanDEM-X ermöglicht.

Das DLR sieht das Projekt RESA als eine konkrete Unterstützung der nationalen Anstrengungen im Rahmen des europäischen Umweltprogramms GMES. An ihm wollen sich die Neustrelitzer Kollegen mit ihren Empfangsantennen und Datenverarbeitungssystemen auch zukünftig aktiv beteiligen.

<http://resaweb.DLR.de>
<http://sss.terrasar-x.DLR.de>
<http://tandemx-science.DLR.de>

RAUMFAHRT FÜR DIE OHREN <http://www.raumzeit-podcast.de>



Unter dem Titel „Raumzeit – Der deutsche Raumfahrt-Podcast“ produzieren das DLR und die Europäische Weltraumorganisation (ESA) gemeinsam eine Folge von Audio-Interviews, die im Internet als MP3-Dateien zum Download angeboten werden. Podcast-Moderator Tim Pritlove erörtert dabei mit jeweils einem Experten ein Thema in einem ausführlichen Gespräch. In den bisherigen Episoden ging es beispielsweise um Missionsplanung, Planetenforschung und Erdbeobachtung.

Mit dem Podcast folgt das DLR einem Trend zeitgemäßer Wissenschaftskommunikation. Mit Erfolg: Die Raumzeit führt die iTunes-Charts im Bereich Wissenschaft seit ihrem ersten Erscheinen im November 2010 an. Dies zeigt – entgegen dem allgemeinen Trend in der Online-Kommunikation zu immer kürzeren Inhalten – ein Bedürfnis nach ausführlichen Darstellungen komplexer Sachverhalte. Die einzelnen Folgen lassen sich auch auf mobilen Abspielgeräten hören. Im Blog zum Podcast können Themen für zukünftige Sendungen vorgeschlagen werden.



Berichtigung

Das Interview mit Sergey Krikalev in der gedruckten Ausgabe des DLR-Magazins 129 enthält falsche Jahresangaben: Auf Seite 11 unten muss es richtig heißen: „Eigentlich sollte ich schon im November 1991 zur Erde zurückkehren, doch dann wurde es März 1992 ...“ Seite 13 in der linken Spalte: „Dann war ich 2005 auf der ISS, als sie etwa halb fertig war.“ – Wir bitten das Versehen zu entschuldigen.

Die Redaktion



Marsmond Phobos, gesehen mit den „Augen“ der vom DLR betriebenen hochauflösenden Stereo-Kamera auf der Sonde Mars Express im Januar 2011

Mehr Licht im Dunkel der Mars-Trabanten

Mitte des 19. Jahrhunderts verfügten die Astronomen an den Sternwarten der europäischen Höfe über ein erstaunlich präzises Bild von der Mechanik unseres Sonnensystems: Die Bahnen aller acht Planeten, einiger großer Asteroiden und weniger Kometen waren bekannt. Vom Jupiter und Saturn wusste man, dass die Gasriesen des äußeren Sonnensystems von mehreren Monden umkreist werden. Im inneren Sonnensystem, so schien es, besitzt nur die Erde mit dem Mond einen Trabanten. Doch was für viele ein Indiz für die Einmaligkeit unseres Heimatplaneten war, ließ ernsthafte Astronomen nicht ruhen: Am 18. August 1877 entdeckte der amerikanische Astronom Asaph Hall mit einem 26-Zoll-Refraktor, dem damals weltweit größten Instrument dieser Art, zwei vergleichsweise winzige Körper, die den Mars umkreisten: Er benannte sie nach den Söhnen des griechischen Kriegsgotts Ares: Phobos und Deimos, Furcht und Schrecken. Heute beschäftigen sich Wissenschaftler des DLR insbesondere mit Phobos, dem größeren der beiden Marsmonde. Die wichtigste Quelle für neues Wissen sind dabei die Bilddaten, die von der Stereokamera HRSC (High Resolution Stereo Camera) an Bord der ESA-Raumsonde Mars Express zur Erde übertragen werden.

Mit Mars Express und Phobos Grunt bei den Söhnen des Kriegsgotts

Von Professor Dr. Jürgen Oberst und Marita Wählich

Der Ursprung der beiden Monde des Mars ist bis heute unklar. Es gibt drei Hypothesen: Die erste besagt, dass sie eingefangene Asteroiden sind. Die spektralen Eigenschaften des Oberflächenmaterials ähneln denen von sogenannten kohlgigen Chondriten, einer besonderen Form von Steinmeteoriten, die bei Asteroiden häufig anzutreffen ist. Phobos reflektiert nur etwa sieben Prozent des Sonnenlichts und ist damit eines der dunkelsten Objekte des Sonnensystems. Dieser besondere Meteoritentyp gilt als sehr altes, kaum verändertes Material aus der Entstehungszeit unserer Sonne. Auch die unregelmäßige Form der Monde spricht für diese erste Theorie.

Nach der zweiten Hypothese sind die Marsmonde infolge von gewaltigen Einschlägen auf dem Mars entstanden. Auswurfmaterial von der Oberfläche des Planeten hat sich in der Umlaufbahn des Planeten gesammelt und die Monde gebildet.

Nach der dritten Theorie wurden Phobos und Deimos zeitgleich mit der Entstehung des Planeten Mars gebildet. Die Parameter der heutigen Umlaufbahnen der Satelliten um den Mars stärken diese Hypothese: Die fast kreisförmigen Umlaufbahnen in der Äquatorebene des Mars sind aus bahndynamischen Gründen schwer mit eingefangenen Asteroiden in Einklang zu bringen. Eine Antwort auf die Herkunft der Monde hätte also grundlegende Bedeutung für die Planetenwissenschaft.

Nach dieser dritten Hypothese müssten der Mars und seine Satelliten eine ähnliche Zusammensetzung aufweisen. Aber warum hat Phobos eine Dichte von nur 1,87 Gramm pro Kubikzentimeter? (Beim Mars liegt dieser Wert bei 3,93 Gramm.) Ist das ein Anzeichen für seine hohe Porosität? Auffallend ist in dem Zusammenhang der größte Einschlagskrater Stickney. Sein Durchmesser von etwa acht Kilometern ist nur wenig kleiner als die längste Achse von Phobos (13 Kilometer). Ein Einschlag, der einen so riesigen Krater auf der Oberfläche bildet, hätte einen festen Körper wahrscheinlich zerrissen. Ist Phobos also nur ein loser Trümmerhaufen, löchrig wie ein Schweizer Käse?

Mond Phobos kreist auf der Innenbahn, der kleine „Bruder“ Deimos außen

Die Monde Phobos und Deimos befinden sich in einer äquatornahen Umlaufbahn um den Planeten Mars: Phobos hat einen Abstand von circa 9.400 Kilometern vom Marsmittelpunkt, Deimos von 23.500 Kilometern. Für eine Umkreisung um den Mars benötigt Phobos 7,6 Stunden, Deimos 30,3 Stunden. Beide Monde zeichnen sich durch eine sehr unregelmäßige Form aus, die sich annähernd durch einen dreiachsigen Ellipsoiden mit den Radien 13 mal 11,4 mal 9,1 Kilometer für Phobos und 7,8 mal 6,0 mal 5,1 Kilometer für Deimos beschreiben lässt.

Modelle der Bahnentwicklung zeigen: Das Dasein der Monde ist endlich

Phobos und Deimos bewegen sich in der sogenannten gebundenen Rotation um den Mars: Sie zeigen stets mit der gleichen Hemisphäre zur Marsoberfläche. Besonders Phobos bewegt sich tief im Gravitationsfeld des Planeten und ist starken Gezeitenkräften ausgesetzt. Modellrechnungen der Bahnentwicklung von Phobos zeigen, dass der Satellit in wenigen Millionen Jahren zerbrechen, dann einen Ring aus Bruchstücken um den Mars bilden und schließlich in seinen Einzelteilen auf den Mars stürzen wird. Ganz anders Deimos, der sich derzeit vom Mars entfernt und möglicherweise in ferner Zukunft die Umlaufbahn sogar verlassen wird. Die geringe verbleibende Lebensdauer der beiden Monde wirft ein weiteres Licht auf deren Ursprung. Möglicherweise sind Phobos und Deimos die Reste einer ehemals viel größeren Population von Marsmonden.

Die ersten Aufnahmen der beiden Monde wurden in den Jahren 1971/72 von der amerikanischen Sonde Mariner 9 gemacht. Es folgten nahe Vorbeiflüge während der Viking-Missionen (USA, 1976-1980), mit deren Ergebnissen zum ersten Mal die Größe und die Form berechnet werden konnten. Es gab Beobachtungen durch Phobos 2 (UdSSR, 1988-1989), Mars Global Surveyor (USA, 1996-2006) und Mars Reconnaissance Orbiter (USA, seit 2005), aber auch von der Marsoberfläche aus durch die Kameras der Landemodule Mars Pathfinder (USA, 1996-1997) und der beiden Mars Exploration Rover (USA, seit 2003).

Die europäische Raumsonde Mars Express ist zurzeit die einzige, die nah an Phobos vorbeifliegen kann. Bisher tat sie das 156-mal und war dabei 100 bis 5.000 Kilometer von Phobos entfernt. 80 Prozent der Fläche konnten so erfasst werden. Die Bilder erreichten Auflösungen von bis zu vier Metern. Allerdings scheint sich ein Teil der vom Mars abgewandten Seite von Phobos den Aufnahmen regelmäßig zu entziehen: Unter den Bedingungen der bisherigen Vorbeiflüge war sie entweder nicht im Blickfeld oder zu dunkel. Dennoch: Die Daten von Mars Express sind einzigartig. Sie liefern sowohl Stereoaufnahmen als auch Farbaufnahmen und hochauflösende Bilder und das während eines Vorbeifluges. Regelmäßig begutachten die Planetengeodäten des DLR-Instituts für Planetenforschung die Phobos- und Deimos-Daten. Die Bilder machten es möglich, die anfangs nur grob bekannten Umlaufbahnen von Phobos und Deimos neu zu bestimmen. Die Bahnmodelle werden nun international verwendet. Dabei konnten auch Schwankungen in der Rotation von Phobos akkurat bestimmt werden. Mit Hilfe der neuen Bahndaten können Mars-Express-Vorbeiflüge an Phobos exakter geplant werden: so geschehen am 9. Januar 2011, als Phobos in Bruchteilen von Sekunden genau in der Bildmitte der Kamerasensoren erfasst wurde.

Die Planetengeodäten des DLR werten zudem die Stereobilder aus und erstellen einen Katalog von Oberflächenmerkmalen, ein sogenanntes Kontrollpunktnetz. Das bestehende Netz von Phobos konnte mit Mars-Express-Daten von 300 auf 600 Kontrollpunkte erweitert werden. Die Auflösung wurde um ein Vierfaches verbessert.

Die aus vielen Einzelbildern neu erstellten Phobos-Karten mit einer 12-Meter-Auflösung zeigen in bisher nicht vorhandener Klarheit die stark zerkraterte Oberfläche. Sehr auffällig sind die Scharen von langen Rillen auf der Oberfläche von Phobos. Stammen diese von Meteoritentreffern beziehungsweise von „Streifschüssen“? Die Gravitation dort ist fast 2.000-mal geringer als auf der Erde. Könnten Gesteinsbrocken, die beim Einschlag eines Meteoriten ausgeworfen wurden, über die Oberfläche „gehüpft“ sein und diese Furchen verursacht haben? Einer anderen Theorie zufolge sollen die Rillen durch Auswurfmaterial eines gewaltigen Meteoriteneinschlags auf dem Mars verursacht worden sein. Es wird aber auch diskutiert, dass die Rillen von Spannungen in dem Körper herrühren und tektonischen Ursprungs sind. Die neuen Daten erlauben eine genaue Kartierung und Vermessung dieser geologischen Besonderheit. Auch die Farbdaten der Mars-Express-Sonde werden von den DLR-Wissenschaftlern ausgewertet: In den Farbbilddaten zeigt sich das Oberflächenmaterial meist rötlich, nur am Rand von großen Kratern tritt das Untergrundmaterial leicht bläulich hervor. Die genaue Kartierung des Körpers ist nicht nur Grundlage für die geologische Interpretation der Bilder, sondern sie dient auch zur Vorbereitung einer neuen Planetenmission: Phobos Grunt.

Blick in die Zukunft: Die Mission Phobos Grunt

Im November 2011 soll eine Zenit-2-Rakete vom russischen Weltraumbahnhof Baikonur in Kasachstan abheben und die russische Raumsonde Phobos Grunt auf den Weg zum Mars bringen. Gleichzeitig wird der kleine chinesische Satellit Yinghuo-1 (chinesisch für Glühwürmchen) „Huckepack“ zum Mars befördert. Er soll ein Jahr lang das Mars-Schwerefeld vermessen. Für Phobos Grunt (aus dem Russischen, soviel wie Phobos Boden) ist der Name der Mission Programm: Es geht um das Absetzen eines Landeapparats auf Phobos, um das Einsammeln von Oberflächenmaterial und um das „Verschicken“ der Bodenproben in einer Rückkehrkapsel, die im August 2014 auf der Erde erwartet wird.

Phobos Grunt soll den Marsmond aber zunächst aus einiger Entfernung erkunden. 15 Instrumente sind dazu an Bord, darunter mehrere Kameras, Spektrometer und ein Radar. Bevor Phobos Grunt landen kann, wird die voraussichtliche Landestelle auf der vom Mars abgewandten Seite von Phobos nochmals genauestens vermessen. Dazu folgt das Raumschiff zunächst dem

Mond auf seiner Bahn um den Mars. Für die Landung selbst sind nur 40 Minuten vorgesehen. Bei diesem komplizierten Manöver werden Laser, Radar und Kameras den Landeapparat leiten. Gerade einmal 17 Minuten Zeit verbleiben zum Einsammeln der Proben mit dem Roboterarm. Nur in dieser kurzen Zeit sind die Beleuchtung der Landestelle und gleichzeitig der Kontakt zur Erde gewährleistet. Danach hebt der Rückkehrapparat mit rund 200 Gramm Probenmaterial von der Oberfläche ab und macht sich auf den Rückweg zur Erde. Das Landemodul, bestückt mit einer Reihe wissenschaftlicher Geräte, wird noch ein Jahr auf der Oberfläche von Phobos weiterarbeiten.

Die Vorbereitungen für die Phobos-Grunt-Mission und die anschließende Auswertung der Daten sollen gemeinsam mit den russischen Kollegen des Labors zur Erforschung extraterrestrischer Territorien der Moskauer Staatlichen Universität für Geodäsie und Kartographie und dem Labor für Vergleichende Planetologie des Vernadsky Instituts für Geochemie und Analytische Chemie der Russischen Akademie der Wissenschaften erfolgen.

Die Zusammenarbeit zwischen den Wissenschaftlern aus Russland und denen des DLR sowie der Technischen Universität Berlin wird durch die Helmholtz-Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren gefördert. Die neu gebildete Helmholtz Russia Joint Research Group „Geodesy, Cartography, and Exploration of Phobos and Deimos“ wird unterstützt durch eine internationale Expertengruppe, die sich jährlich am International Space Science Institute in Bern trifft.

Wenn 2014 die Rückkehrkapsel von Phobos Grunt Material von Phobos zur Erde bringt, wird die Untersuchung der Proben nicht nur unsere Kenntnisse über Phobos, sondern vielleicht auch unser Wissen über die Entstehung unseres Sonnensystems erweitern. ●



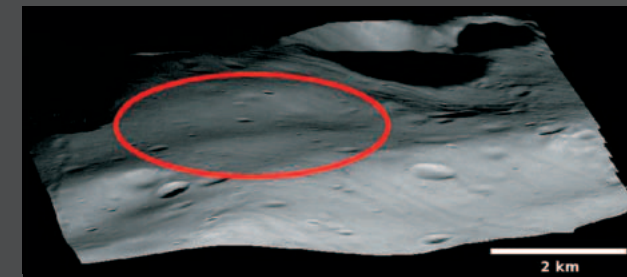
Die Programmierung der Aufnahmesequenzen für die Mars-Express-Kamera erfolgt am DLR-Institut für Planetenforschung. Die Phobos-Vorbeiflüge muss das Experiment-Team besonders gründlich planen, da die Bahndaten des Mondes ständig aktualisiert und verbessert werden.

Autoren:

Prof. Dr. Jürgen Oberst vom DLR-Institut für Planetenforschung leitet eine internationale Expertengruppe zur Erforschung der Marsmonde Phobos und Deimos. Marita Wählich ist im gleichen Institut als Kartografin tätig.

Weitere Informationen:

www.DLR.de/pf
www.DLR.de/Mars



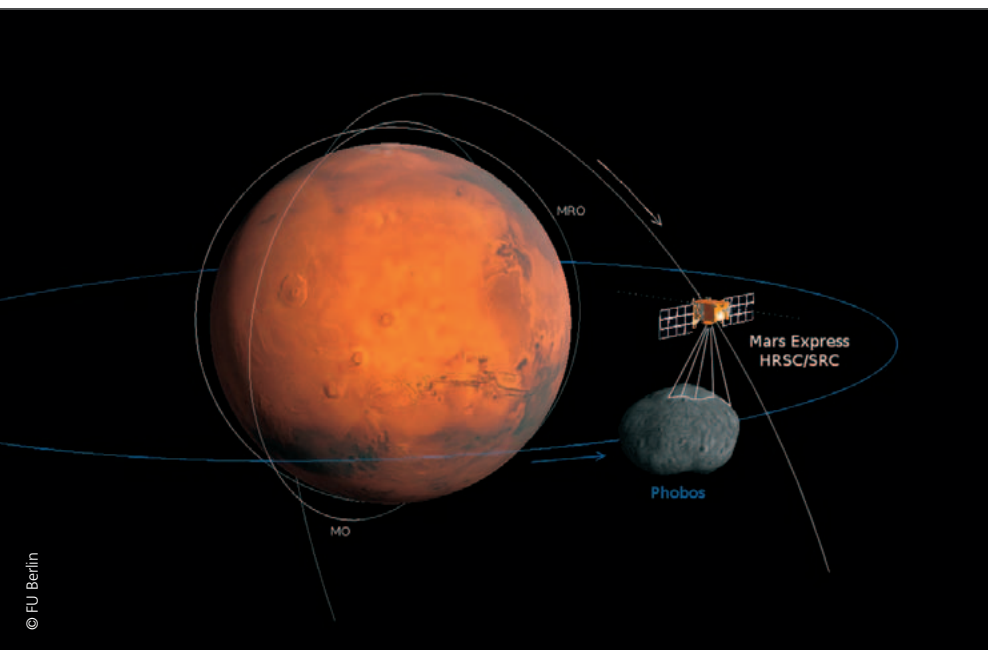
Bilder: © ESA/DLR/FU Berlin (G. Neukum)

Rot markiert: die geplante Landestelle für Phobos Grunt; unten: Phobos und Deimos direkt hintereinander – ein selten dokumentiertes Ereignis, das die Mars-Express-Kamera am 5. November 2009 festhielt

Die Sonde Phobos Grunt, die von der Firma NPO Lavochkin in Moskau für die gleichnamige russische Mission gebaut wurde. Eine eingebaute Rückkehrkapsel soll im Jahr 2014 Proben vom Phobos zur Erde bringen.



© NPO Lavochkin



Aufgrund ihres elliptischen Orbits kommt die ESA-Sonde Mars Express dem Mond Phobos regelmäßig bis auf wenige hundert Kilometer nahe. Die Grafik zeigt die Konstellation von Mars, Phobos und Mars Express beim Vorbeiflug in 100 Kilometer Entfernung am 9. Januar 2011. Für jeden der neun HRSC-Sensoren war der Mond nur neun Sekunden im Blickfeld (Darstellung nicht maßstäblich).

Zwei Gesichter

Seit sieben Jahren umkreist die Raumsonde Cassini den Saturn, den zweitgrößten Planeten unseres Sonnensystems. Die aktuell größte Planetenmission der NASA sorgt für einen permanenten Strom an Messdaten, die unser Verständnis von der Welt der riesigen Gasplaneten und ihrer Monde fundamental erweitern. Nicht nur beim Titan oder bei Enceladus, auch bei Iapetus, einem der äußeren Monde des Saturns, brachten sie Außergewöhnliches zu Tage: Iapetus, der Mond mit seiner uralten, kraterübersäten Oberfläche, hat zwei Gesichter und eine auffällige Topografie, bei der ein globaler, äquatorialer Bergrücken mit über 4.600 Kilometer Länge und mindestens 13 Kilometer Höhe hervorsticht. Mit der Erforschung des Iapetus, der im Jahr 1671 von Jean-Dominique Cassini, dem Namensgeber der Mission, entdeckt wurde, befassen sich auch Wissenschaftler des DLR.

Saturnmond Iapetus hat eine weiße und eine schwarze Seite. Doch das ist noch nicht alles, was außergewöhnlich ist.

Von Ulrich Köhler und Dr. Bernd Giese

DLR-Beiträge zur Cassini-Mission

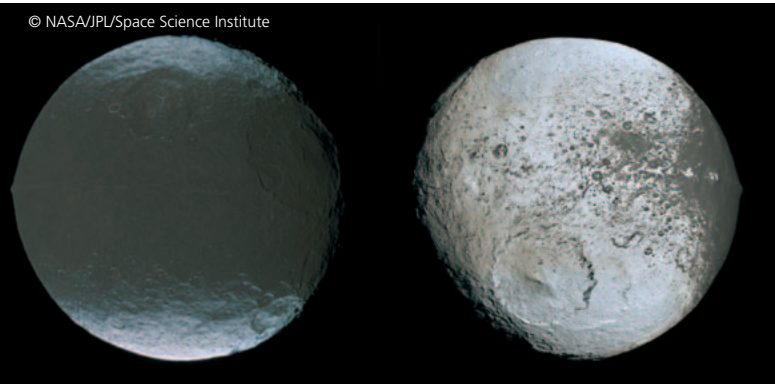
Das DLR-Institut für Planetenforschung ist an zwei der zwölf Experimente von Cassini maßgeblich beteiligt. Seine Wissenschaftler sind dabei, wenn mit einem Spektrometer für das sichtbare Licht und das nahe Infrarot die Mineralogie und Geochemie der Mondoberflächen untersucht werden. Und es nimmt mit assoziierten Wissenschaftlern am Kamera-Experiment der Mission teil. Zudem ist das DLR vom Kamerateam der Mission damit betraut worden, Atlanten der Oberfläche aller großen Eismonde des Saturns (außer Titan, dessen Oberfläche von seiner dichten Atmosphäre verhüllt wird) zu erstellen.

Die von blankem Eis gleißend helle „Heckseite“ des Saturnmondes Iapetus wurde in hoher Auflösung erstmals 2007 fotografiert. Der Saturn-Orbiter Cassini nahm das Bild entgegen seiner Bewegungsrichtung um den Planeten auf. Gut zu sehen: das 500 Kilometer große Einschlagsbecken Englier.

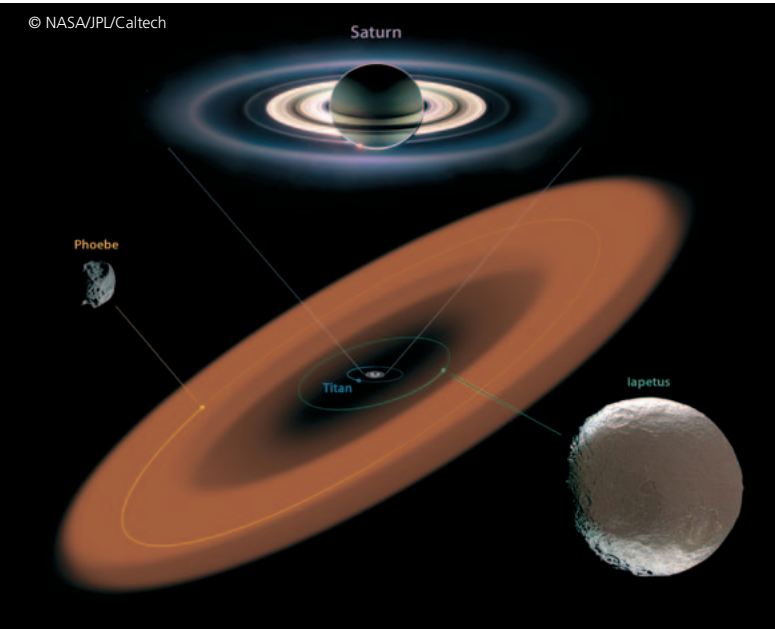
Als bei den frühen Beobachtungen des Saturns nicht nur dessen Ringe in der Äquatorebene des Planeten entdeckt wurden, sondern sich zugleich zeigte, dass auch der Saturn – wie zuvor am Jupiter beobachtet – von großen Trabanten umgeben ist, sprachen die Astronomen von zwei „Sonnensystemen en miniature“. Erforscht man sie, versteht man auch die Evolution des Sonnensystems insgesamt besser. Heute, im Raumfahrtzeitalter, können diese Planetensysteme aus nächster Nähe untersucht werden. Die epochalen ersten Nahaufnahmen einiger Saturnmonde mit den beiden legendären Voyager-Sonden 1980 und 1981 veranlassten die Raumfahrtbehörden NASA und ESA, mit der Doppelmission Cassini-Huygens eine intensivere Erkundung des Saturnsystems zu beginnen.

Der Mond Iapetus ist nach einem der Söhne von Gaia – in der griechischen Mythologie die Mutter Erde – und des Uranos – der Verkörperung des Himmels – benannt. Er ist mit fast 1.500 Kilometer Durchmesser der drittgrößte Saturnmond und in vielerlei Hinsicht ein bemerkenswerter Himmelskörper. Trotz seines relativ großen Abstands von 3,5 Millionen Kilometern zum Saturn umkreist er diesen in etwas mehr als 79 Tagen. Er hat also seinen Eigendrehimpuls verloren und zeigt seinem Mutterplaneten stets das gleiche „Gesicht“, ähnlich wie es unser Erdmond tut. Diese sogenannte „gebundene Rotation“ ist eine Folge der Gezeitenwechselwirkung mit Saturn und bei den großen Abständen zum Mutterkörper nicht unbedingt zu erwarten: Unsere etwa gleich alte Erde hat seit ihrer Entstehung vor 4,5 Milliarden Jahren ihre eigene Drehbewegung behalten. Der große Abstand zur Sonne hat verhindert, dass die Erdrotation abgebremst wurde. (Ein Glück, denn sonst würde nur die Hälfte der Erde von Sonnenlicht beschienen und auf der Erdrückseite wäre es ständig dunkel – Leben hätte so kaum entstehen können!)

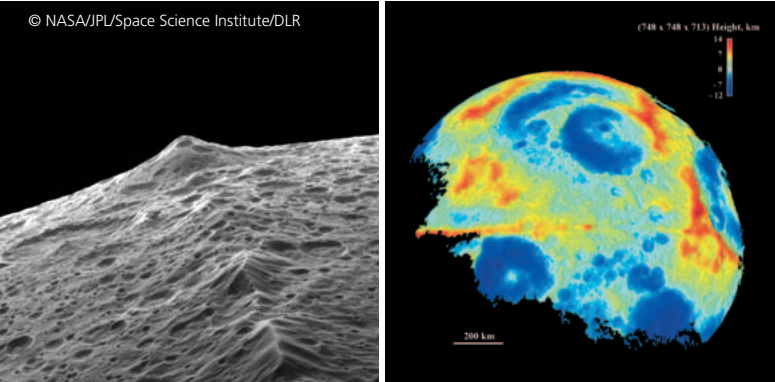
Aufgrund einer gemessenen Dichte von 1,09 Gramm pro Kubikzentimeter und eindeutigen spektralen Signaturen der Iapetus-Oberfläche ist klar, dass der Mond zum überwiegenden Teil aus Wassereis bestehen muss – sicher ohne die Möglichkeit, eine wasserführende Schicht unter seiner bis zu minus 220 Grad Celsius kalten Oberfläche zu besitzen, wie dies vielleicht bei Titan oder Enceladus der Fall ist, den beiden geologisch aktiven Monden Saturns. Wahrscheinlich gibt es im Inneren von Iapetus auch keinen ausgeprägten Kern aus silikatischen Mineralen.



Kein anderer Körper im Sonnensystem zeigt derart stark kontrastierende Hemisphäre wie der Mond Iapetus mit seinen knapp 1.500 Kilometern Durchmesser. Die in Bewegungsrichtung um Saturn gelegene „Bugseite“ (links) reflektiert nur knapp fünf Prozent des Sonnenlichts; die beiden Pole und der größte Teil der „Heckseite“ (rechts) dagegen mehr als 50 Prozent.



In einer Entfernung von sechs bis zwölf Millionen Kilometern vom Saturn existiert ein stark geneigter, schlauchförmiger Torus aus feinsten Eis- und dunklen Staubpartikeln, die von Einschlägen auf die äußersten kleinen Saturnmonde, wie zum Beispiel Phoebe, stammen. Iapetus am Innenrand des Torus sammelt mit seiner „Bugseite“ einen Teil davon ein.



Stereobilddaten ermöglichen digitale Geländemodelle der Iapetus-Oberfläche. Die Höhenunterschiede sind enorm. Sie reichen von -12 Kilometer (blau) bis +14 Kilometer (rot). Als horizontaler Streifen erkennbar: ein globaler Bergrücken von bis zu 13 Kilometer Höhe.

Bereits vor der Voyager-Mission war bekannt, dass Iapetus zwei in ihrer Helligkeit auffallend kontrastierende, scharf voneinander abgegrenzte Hemisphären hat. Die in Bewegungsrichtung um den Saturn vorne liegende und wegen der gebundenen Rotation immer gleiche Hälfte ist schwarz wie Pech und besitzt im sichtbaren Licht nur etwa ein Zehntel der Reflektionskraft der anderen Hemisphäre, die strahlend hell ist, fast wie frischer Schnee. Erst die Kamera auf der Cassini-Sonde konnte bei ihren nahen Vorbeiflügen an Iapetus diese beiden unterschiedlichen Regionen im Detail sichtbar machen. In Zahlen ausgedrückt reflektiert die helle „Heckseite“ des Iapetus mehr als 50 Prozent des Sonnenlichts, die dunkle „Bugseite“ des Mondes jedoch nur circa fünf Prozent. Anhand der hellen Strahlen des Auswurfs von kleinen, jungen Einschlägen kann man schlussfolgern, dass der dunkle Belag nur wenige Dezimeter bis vielleicht wenige Meter mächtig ist. Über die Ursache für diese ungewöhnliche Zweiteilung, in der Wissenschaft als Dichotomie bezeichnet, wird seit Langem gerätselt: Vulkanstaub aus dem Inneren des Mondes wurde genauso in Erwägung gezogen wie das Übergehen von (hellem) Eis in die Gasphase (Sublimation), wodurch darunter befindliche (dunkle) Silikate oder Kohlenstoffverbindungen freigelegt wurden. Auch dunkle Staubpartikel von benachbarten ‚dunkleren‘ Monden, durch Einschläge im Saturnsystem verteilt und auf Iapetus‘ Oberfläche gezogen, wurden erwogen. Was alle Erklärungsversuche schwierig macht, ist der Umstand, dass sich die Dichotomie nicht entlang eines bestimmten Längengrads manifestiert, sondern an den beiden Polen des Mondes die helle Oberfläche gewissermaßen auf die dunkle Hälfte des Mondes übergreift, was dazu führt, dass Iapetus in manchen Perspektiven den Anblick eines Astronautenhelms mit heller Schale und dunklem Visier bietet.

Entscheidende Erklärungshinweise auf die Ursache von Iapetus‘ Eigenart lieferten nicht nur die Bilddaten von Cassini, bei denen Tilmann Denk in der vom DLR-Raumfahrtmanagement geförderten Cassini-Arbeitsgruppe an der Freien Universität Berlin federführend war, sondern auch Beobachtungen mit dem Weltraumteleskop Spitzer der NASA: Saturn ist jenseits der Iapetusbahn von einem um 27 Grad gegen die Äquator- und Hauptringebene geneigten, riesigen Torus aus winzigen, dunklen Staubteilchen umgeben. Die Partikel stammen von Einschlägen auf die weiter außen gelegenen, kleinen Monde Saturns, wie beispielsweise Phoebe, der sich in der Mitte dieses Torus‘ befindet. Die Dichte der Teilchen ist zwar extrem niedrig, dennoch reichen die wenigen, rückläufig zur Bewegungsrichtung des Mondes ins Innere des Saturnsystems wandernden Partikel aus, um von der Bugseite des Iapetus über lange Zeiträume zu einer Art Belag aufgesammelt und zu einer dünnen, schwarzen Schicht verdichtet zu werden (vergleichbar mit den Mücken, die bei einer sommerlichen Autofahrt auf die Windschutzscheibe prallen). Spektrometeranalysen zeigen, dass es sich zum Teil um organische, also kohlenstoffhaltige Verbindungen handelt, die von den weiter außen befindlichen kleinen Saturnmonden stammen dürften, aber auch um feinste, nanophasige Partikel des Eisenoxids Hämatit.

Einst in schnellerer Rotation

Neben der Dichotomie ist die Topografie des Mondes ein zweites besonderes Merkmal von Iapetus. Am DLR-Institut für Planetenforschung werden Stereo-Bilddaten des Cassini-Kamerasystems zu digitalen Geländemodellen verarbeitet. Mit ihnen lässt sich die geologische Geschichte des Mondes entschlüsseln. Die Auswertungen haben gezeigt, dass die Oberfläche ein Relief von mehr als 20 Kilometern besitzt. Die tiefsten Punkte (im Zentrum von Einschlagsbecken mit mehreren hundert Kilometern Durchmesser) liegen bei etwa minus zwölf Kilometern; das Auswurfmaterial dieser großen Einschlagsbecken hat sich an anderen Stellen bis zu Höhen von 14 Kilometern aufgetürmt. Das sind 26 Kilometer Höhenunterschied, weit mehr Oberflächenrelief als auf der Erde und auch im Saturnsystem rekordverdächtig.

Eine weitere Besonderheit betrifft die Figur von Iapetus. Sie lässt sich am ehesten mit einem zweiachsigen Ellipsoidkörper vergleichen. Die Radien betragen 712 Kilometer (polar) und 746 Kilometer (äquatorial). Indes, diese Figur entspricht bei einer Rotationsdauer von 79 Tagen keinem Gleichgewicht zwischen der Fliehkraft, die nach außen wirkt, und der Schwerkraft, die anziehend ist. Vielmehr passt sie zu einem Zustand, in dem Iapetus in seiner ‚Jugend‘ noch mit einer Periode von knapp 17 Stunden rotierte. Das bedeutet, dass die Figur des Eismondes infolge einer schnellen Abkühlung sich dem verändernden Rotationszustand (eine allmähliche Abbremsung durch die Gezeitenkräfte des Saturns) nicht mehr anpassen konnte und dieser Zustand so bis zum heutigen Tage ‚eingefroren‘ und sichtbar ist.

Aufgrund der Beobachtungsverhältnisse und der Jahreszeiten auf Iapetus – die Nordpolregion ist erst seit 2009 der Frühlingssonne ausgesetzt – ist zwar erst knapp die Hälfte des Mondes mit Stereobilddaten erfasst (aus denen man digitale Geländemodelle ableiten kann), aber allein diese topografischen Daten brachten Erstaunliches hervor. Iapetus zeigt im Unterschied zu den anderen großen Monden des Saturns mehrere große Einschlagsbecken an der Oberfläche. Das größte davon hat einen Durchmesser von etwa 800 Kilometern. Bemerkenswert ist, dass dieses für einen Mond solcher Größe gewaltige Becken auf den Bildern der Kamera nicht zu sehen ist. Denn die Oberfläche ist mehr durch materialbedingte Hell-Dunkel-Kontraste geprägt als durch Helligkeitsunterschiede, die vom Schattenwurf von Landschaftsmerkmalen erzeugt werden. Erst die topografischen Modellierungen haben das uralte Becken zum Vorschein gebracht. Solche großen Einschlagsbecken hat es sehr wahrscheinlich auch auf den anderen Monden gegeben, jedoch sind sie dort über die Jahrmillionen in den Urzustand zurückgekehrt und damit längst verschwunden: Da Eis ‚fließt‘, wenn es warm genug oder durch hohen Druck plastisch verformbar ist, nivelliert sich eine (beispielsweise durch große Einschläge deformierte) Eiskruste im Verlauf von Jahrmillionen wieder. Ein Vorgang, der in der Geophysik als Relaxation bezeichnet wird. Der schnell erkaltete Iapetus hat also ein Relaxieren verhindert und zeigt mit seiner Oberfläche, „wie es früher mal war“.

Gewaltiger globaler Bergrücken

Einzigartig bei Iapetus ist aber eine andere Struktur, die bislang noch auf keinem Mond oder Planeten unseres Sonnensystems beobachtet worden ist: ein äquatorial verlaufender,

mehrere tausend Kilometer langer und zwischen zehn und 13 Kilometer (an manchen Stellen vermutlich bis zu 20 Kilometer) hoher Bergrücken. Er erstreckt sich über mehr als die Hälfte des Äquators. Es ist davon auszugehen, dass dieser gigantische, etwa 70 bis 100 Kilometer breite Wulst einst den ganzen, im Durchmesser nur 1.500 Kilometer großen Mond umspannte. Denn vermutlich ist die Struktur über vier Milliarden Jahre alt und deshalb von der Erosion (Einschläge von Asteroiden und Kometen) bereits stellenweise schon wieder abgetragen.

Der Entstehungsprozess dieses gewaltigen Bergrückens ist noch unklar. Denkbar wären tektonische Kräfte: Da der Bergrücken zentral im Gebiet Cassini Regio liegt und dunkles Material genau symmetrisch zur Achse des Rückens lagert, nahm man zunächst an, die Bergkette wurde von vulkanischen Kräften im Inneren des Mondes nach oben gedrückt. Dabei, so vermutete man, wurde auch die durch Prozesse im Inneren erzeugte dunkle Substanz bei Vulkanausbrüchen über die Oberfläche verteilt. Inzwischen weiß man jedoch, dass diese spezifische Lage von dunklem Material und Rücken zueinander zufällig ist, und dass der dunkle Belag von außen auf die Mondoberfläche kam. Heute werden globale tektonische Spannungen als Ursache favorisiert. Vermutlich bauten sich enorme Kräfte in der Kruste von Iapetus auf, als der Körper nach seiner Entstehung schnell abkühlte und gewaltig schrumpfte. Unter dem Einfluss von Wärme könnten sich Poren und Hohlräume im Inneren geschlossen haben, was zu einer Volumenabnahme und damit zu Spannungen führte. Infolgedessen wurde entlang des Äquators Material nach oben gedrückt – mit dem heute noch sichtbaren, beeindruckenden Resultat.

Wer weiß: hunderte Generationen in der Zukunft ist das Erklimmen der höchsten Gipfel entlang dieses Grates vielleicht ‚die‘ Herausforderung für astronautische Bergsteiger irdischer Zivilisationen. ●

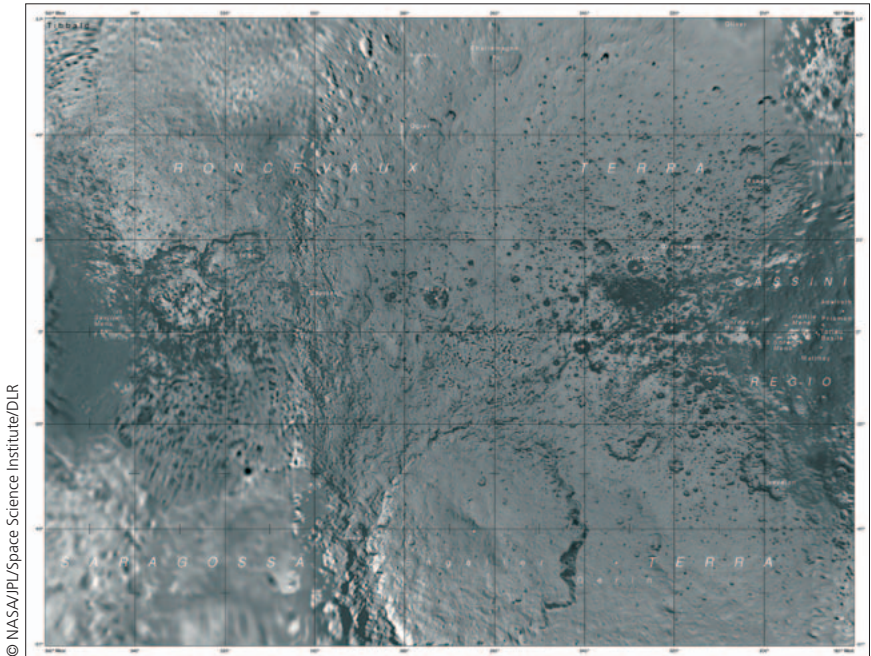
Autoren:

Ulrich Köhler ist Planetengeologe und am DLR-Institut für Planetenforschung in Berlin-Adlershof unter anderem für die Öffentlichkeitsarbeit zuständig.

Dr. Bernd Giese ist Physiker am DLR-Institut für Planetenforschung und auf die Verarbeitung stereoskopischer Bilddaten von Planetenmissionen zu den äußeren Planeten des Sonnensystems spezialisiert sowie auf topografische Geländemodelle und deren Auswertung.

Weitere Informationen:

www.dlr.de/saturn
saturn.jpl.nasa.gov
www.esa.int/SPECIALS/Cassini-Huygens



Aus den Bilddaten der Cassini-Vorbeiflüge – ergänzt mit Daten alter Voyager-Aufnahmen – erstellt das DLR-Institut für Planetenforschung einen Bildatlas von Iapetus. Die meisten Namen für die unterschiedlichen Oberflächenmerkmale stammen aus dem mittelalterlichen „Rolandslied“, einem französischen Epos aus der Zeit Karls des Großen.

„Es fliegt, tatsächlich!“

Wie bereitet man ein Raumfahrtprojekt vor? Mit dem deutsch-schwedischen Programm REXUS/BEXUS (Raketen-/Ballon-Experimente für Universitätsstudenten) können Nachwuchswissenschaftler eigene praktische Erfahrungen sammeln. Dr.-Ing. Hannah Böhrk, Expertin für Hitzeschutzsysteme vom DLR-Institut für Bauweisen- und Konstruktionsforschung in Stuttgart, war bei der jüngsten Kampagne als Betreuerin der Studentengruppe REMOS dabei und schrieb für das DLR-Magazin diesen Beitrag.

Forschungsraketen REXUS 9 und 10 brachten Studentenexperimente an den Rand zum Weltall

Von Dr.-Ing. Hannah Böhrk

Kiruna in Nordschweden, 22.02.2011. Team REMOS wartet gespannt auf den Start von REXUS 9. Die Rakete des DLR und der schwedischen Raumfahrtagentur SNSB soll ihr Experiment auf circa 88 Kilometer Höhe und wieder zurück zum Boden bringen. Mit REMOS (Recession Monitoring System) haben die Stuttgarter Studenten ein System entwickelt, um den Zustand von Hitzeschilden von Wiedereintrittsfahrzeugen zu überwachen. Dazu messen sie die elektrischen Eigenschaften des Materials und schließen auf die verbleibende Materialdicke eines Hitzeschildes. Der Countdown läuft zwei Stunden vor Start bei T -02:00:00 an. Im Kontrollzentrum für die REXUS-Kampagne wird konzentriert gearbeitet. Große Fenster gewähren Aussicht auf die Startrampe. Die Teammitglieder Serina Latzko, Marcel Düring und Christian Blank wachen von hier mit ihrer Bodensoftware über die Materialparameter, die während des Flugs vom Experiment übertragen werden. Mit Beginn des Countdown startet Marcel Düring die Bodensoftware. Dann wird Strom auf die Experimente auf der Rakete gegeben und schon beginnen Zahlenkolonnen die Bildschirmfenster der REMOS-Nutzerschnittstelle zu durchlaufen. Marcel Düring prüft die Zahlenwerte: Alles funktioniert gut und auch die Uhr läuft richtig. Anhand der Uhrzeit sollen später die Messdaten mit den Bahndaten der Forschungsrakete in Zusammenhang gestellt werden.

Eine Stunde vor Start heult die erste Sirene. Christian Blank informiert via Live-Ticker auf der Webseite der Gruppe über das Geschehen vor Ort. Noch zweimal ertönt die Sirene: eine dreiviertel und eine halbe Stunde vor Start. Jetzt machen sich Teamleiter Robert Wuseni und die anderen Teammitglieder Salome Schweikle, Alena Probst, Uwe Sauter und ich uns auf den schneebedeckten Weg zum Radar Hill. Von dort aus haben wir bei minus 18 Grad Celsius und stahlblauem Himmel gute Sicht auf die Startrampe. „Das ist schon spannend. Du weißt genau: Das Experiment, an dem du anderthalb Jahre gearbeitet hast, fliegt jetzt tatsächlich“, sagt Salome Schweikle. Seit September 2009 wirkt die Studentin neben ihrem Luft- und Raumfahrttechnikstudium an diesem Projekt mit. Der Informationsaustausch mit den anderen klappte gut, trotz ihrer verschiedenen Aufenthaltsorte in Bremen, Darmstadt, Köln und Toulouse.

Gerade ist die Verbindung zwischen ihnen jedoch unterbrochen: Seit T -00:20:00 ist die Tür im Kontrollzentrum verschlossen. Es wird ruhig, alle hören gespannt auf die Funkdurchsagen, bis die letzten zehn Sekunden angezählt werden und die Rakete abhebt. Auf dem Radar Hill stockt den Zuschauern der Atem. „Plötzlich realisiert man: Jetzt gibt es keine Verzögerung mehr und man ist nur noch beeindruckt“, kommentiert Robert Wuseni das Geschehen. Christian Blank, der im Kontrollzentrum den Dateneingang überwacht, fügt hinzu: „Besonders interessant ist es, wenn nach 74 Sekunden die Abdeckung des REMOS-Experiments abgesetzt wird und man live die Messwerte beobachten kann.“ Die Übertragung der Messdaten funktioniert. Marcel Düring, Christian Blank und Serina Latzko im Kontrollzentrum atmen auf.

Noch am selben Tag wird REMOS geborgen. Das Team macht sich jetzt daran, die Kameradaten, die noch im Experiment gespeichert sind, auszulesen und die übertragenen Daten zu interpretieren. Die gemeinsame Arbeit geht weiter. ●

Die deutschen REXUS-Projekte werden vom DLR-Institut für Raumfahrtssysteme in Bremen geleitet. Die Flugkampagnen werden von EuroLaunch, einem Joint Venture der Mobilen Raketenbasis des DLR (MoRaBa) und dem Esrange Space Center des schwedischen Raumfahrtunternehmens SSC (Swedish Space Corporation), durchgeführt. Die programmatische Leitung und Ausschreibung erfolgt durch das DLR-Raumfahrtmanagement in Bonn.

Der Radar Hill nahe dem Kontrollzentrum im nordschwedischen Kiruna bietet gute Sicht. Von hier aus beobachten die Studenten den Start „ihrer“ Rakete.

© J. Bergström-Roos, SSC.

Weitere Informationen:
<http://s.DLR.de/Imi4>

Streifen um Streifen. Stück für Stück.

Unermüdlich kreisen die beiden Radarsatelliten TanDEM-X und TerraSAR-X seit einem Jahr um die Erde und liefern den Wissenschaftlern des DLR Daten. Das Ziel: ein hochgenaues, dreidimensionales Höhenmodell der gesamten Erdoberfläche. 2013 soll die Erde dann vollständig in 3-D vermessen sein. Für diese Aufgabe nähern sich die beiden Satelliten im Formationsflug auf einen Abstand von nur noch 200 Metern an. „Eine großartige Herausforderung“, sagt Projektleiter Manfred Zink. Die Herausforderung fing jedoch bereits wesentlich früher an, denn während die Mission mit dem ersten Radarsatelliten TerraSAR-X schon anlief, mussten der zweite Radarsatellit, TanDEM-X, und die neue, zusätzliche Mission bereits geplant werden.

Die Zwillingssatelliten TanDEM-X und TeraSAR-X vermessen gemeinsam die Erde – eine Mission mit striktem Zeitplan.

Von Manuela Braun

Wenn es um TanDEM-X geht, fällt es Projektleiter Manfred Zink nicht schwer, die Einzigartigkeiten der deutschen Satellitenmission zu benennen. Ein globales Höhenmodell in einer einheitlichen Genauigkeit, die es vorher noch nicht gab. Ein enger Formationsflug in einer ausgeklügelten Doppelhelix-Bahn, der reibungslos funktioniert. Hohe technische Ansprüche, die man für die Mission der Zwillingssatelliten erfolgreich umsetzte. Und nicht zuletzt der ungewöhnliche Anfang der Mission. Wie bei keinem anderen Satelliten zuvor tickte für Planung und Start bei TanDEM-X die Uhr von Anfang an unerbittlich. Im Juni 2007 startete der erste Radarsatellit TerraSAR-X mit einer voraussichtlichen Lebensdauer von fünfeinhalb Jahren in seine Umlaufbahn – und nur wenn TanDEM-X rechtzeitig ins Weltall gelangen würde, könnten beide Satelliten gemeinsam im Formationsflug ausreichend lange über der Erde kreisen und die Daten für ein komplettes Höhenmodell sammeln. Das war damals allen Beteiligten nur zu gut bewusst. „Mit dem Start von TerraSAR-X ging es für TanDEM-X richtig los“, erinnert sich Zink. „Die strikte Einhaltung des Zeitplans war von Anfang an extrem wichtig.“

Die Entscheidung für die Mission TerraSAR-X war bereits Ende 2001 gefallen. Der Satellit sollte mit Radarimpulsen die Erde abtasten und der Wissenschaft umfangreiche Daten liefern. Sein Vorteil gegenüber optischen Satelliten: TerraSAR-X kann auch bei Bewölkung und in der Dunkelheit Daten der Erde aus dem Weltall aufzeichnen. 2003 entstand dann am DLR-Institut für Hochfrequenztechnik und Radarsysteme gleich die nächste Idee: Ein baugleiches Satellitenpaar könnte die Erde zeitgleich aus verschiedenen Blickwinkeln aufnehmen – und so präzise Höheninformationen liefern. Aus der Idee wurde 2005 eine erste Pilotstudie. „Damals war schon klar, dass wir auch unser laufendes Projekt mit TerraSAR-X dementsprechend anpassen mussten.“ Der erste Radarsatellit erhielt zusätzliche Hardware, damit er später in der Lage war, im All mit seinem Zwillingbruder reibungslos zusammenzuarbeiten.

Flache Tundra, ein zugefrorener Fluss und viele ehemalige Flussläufe – das Satellitenpaar TanDEM-X und TerraSAR-X hat am 21. Dezember 2010 den Fluss Taz in der Nähe des sibirischen Dorfes Krasnoselkup aus dem Weltraum aufgenommen. Da das Gebiet kaum Höhenunterschiede aufweist, zeigt das Interferogramm nur weite Flächen in gleicher Farbe.

**Zwei Satelliten, zwei Missionen
und zu großen Teilen dasselbe Team**

„Das war gleich zu Beginn der Mission eine schwierige Phase“, erinnert sich Projektleiter Manfred Zink. Schon vor dem Start des Radarsatelliten beschäftigte die TerraSAR-X-Mission einen großen Teil der Mannschaft. „Die Kollegen hatten anderes im Kopf, als sich zu dem Zeitpunkt schon mit der nächsten Mission zu beschäftigen.“ Als TerraSAR-X mit dem Start und den ersten Monaten im Weltall in die heiße Phase ging, blieb für TanDEM-X nur noch ein kleines Kernteam übrig. „Die zwei Projekte standen in Konkurrenz um die Personalressourcen.“

Allerdings: Dass die beiden Missionen sich schon von der Planung bis zur Umsetzung überschneiden, hatte auch deutliche Vorteile, erinnert sich Zink. „Die Erfahrungen aus der laufenden TerraSAR-X-Mission lieferten uns wichtige Erkenntnisse. Außerdem konnten wir bei TanDEM-X dadurch auf ein schon eingespieltes Team zurückgreifen.“ Vier DLR-Einrichtungen – das Institut für Hochfrequenztechnik und Radarsysteme, das Institut für Methodik der Fernerkundung, das Deutsche Fernerkundungsdatenzentrum und die Raumflugbetriebe – arbeiteten im Team für die Radarmissionen. „Schon für das TerraSAR-X-Projekt entstanden nach und nach immer bessere Strukturen der Zusammenarbeit.“ Als TanDEM-X schließlich startete, war „die darauf ausgerichtete Arbeitskultur bereits etabliert“. Und auch technisch konnte man von TerraSAR-X für die neue Mission profitieren. TerraSAR-X und TanDEM-X sind die am besten getesteten Radarmissionen. „Das können wir mit Fug und Recht behaupten“, so der Projektleiter. Schon in den ersten sechs Monaten der „Commissioning“-Phase, der ersten Phase des TanDEM-X-Betriebs, werteten die Wissenschaftler mehr als 8.000 Datenaufzeichnungen aus.

**Nachhilfe für Satelliten:
Lageregelung mit Hilfe von Magnetfeldern**

Doch mit dem Start von TerraSAR-X standen die Wissenschaftler und der Industriepartner Astrium vor einer weiteren, bisher noch nicht gekannten Herausforderung: Ein Satellit war am Boden, während das Gegenstück schon in über 500 Kilometer Entfernung im Weltall seine Bahn zog. Keine einfachen Voraussetzungen, um ein Satellitenpaar aufeinander abzustimmen. So wurde beispielsweise schnell klar, dass die zukünftige Lageregelung im Sicherheitsmodus bei TerraSAR-X nicht mehr wie bisher mit dem Hydrazin-Antrieb durchgeführt werden könnte. „Das ist für den Formationsflug sehr ungünstig, weil man mit diesem Antrieb nicht nur die Lage, sondern auch die Bahn des Satelliten verändert.“ Es musste also eine Lösung her, mit der der bereits fliegende TerraSAR-X-Satellit in Zukunft seine Lage ändern könnte, ohne seinen Hydrazin-Antrieb zu verwenden. „Innerhalb kürzester Zeit mussten wir für dieses Problem eine Lösung finden – und die Kollegen von Astrium haben es dann geschafft, eine neue Software für TerraSAR-X zu entwickeln und vom Boden aus auf den Satelliten zu übertragen.“ Jetzt regeln beide Satelliten ihre Lage über Magnet-Torquer, das heißt unter Nutzung eines künstlichen Magnetfelds und des Magnetfelds der Erde.

Auch mit der Gefahr, dass die beiden Satelliten im Weltall kollidieren oder sich irrtümlich gegenseitig mit Radarsignalen treffen könnten, mussten sich die Forscher beschäftigen. „Die Satelliten dürfen sich gegenseitig nicht bestrahlen, damit die Elektronik des Partnersatelliten nicht gestört wird.“ Allerdings: Die Fähigkeit, den Partnersatelliten im Auge zu behalten und bei Problemen den Radarbetrieb einzustellen, hatte zunächst einmal nur der neue Satellit TanDEM-X mit dem Inter-Satellite-Link, der Statusinformationen und Bahndaten des fliegenden Zwillings empfing. Gemeinsam mit dem Industriepartner Astrium GmbH Friedrichshafen suchten die DLR-Wissenschaftler nach einem Trick, mit dem auch TerraSAR-X erfahren würde, wie es dem Gegenstück geht. Die Idee: Das bestehende Synchronisationssystem wird ebenfalls da-

zu genutzt, Informationen zwischen den Satelliten auszutauschen. Heute „merken“ beide Satelliten, ob der andere „Probleme“ hat – dann wird der Radarbetrieb selbstständig unterbrochen.

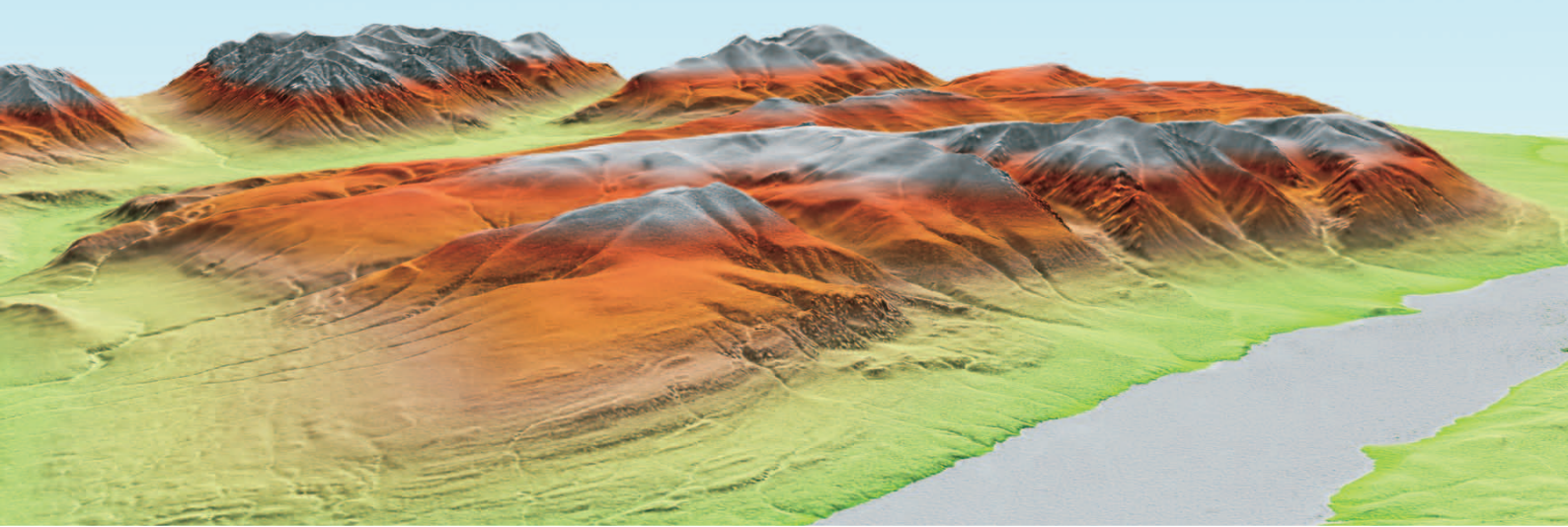
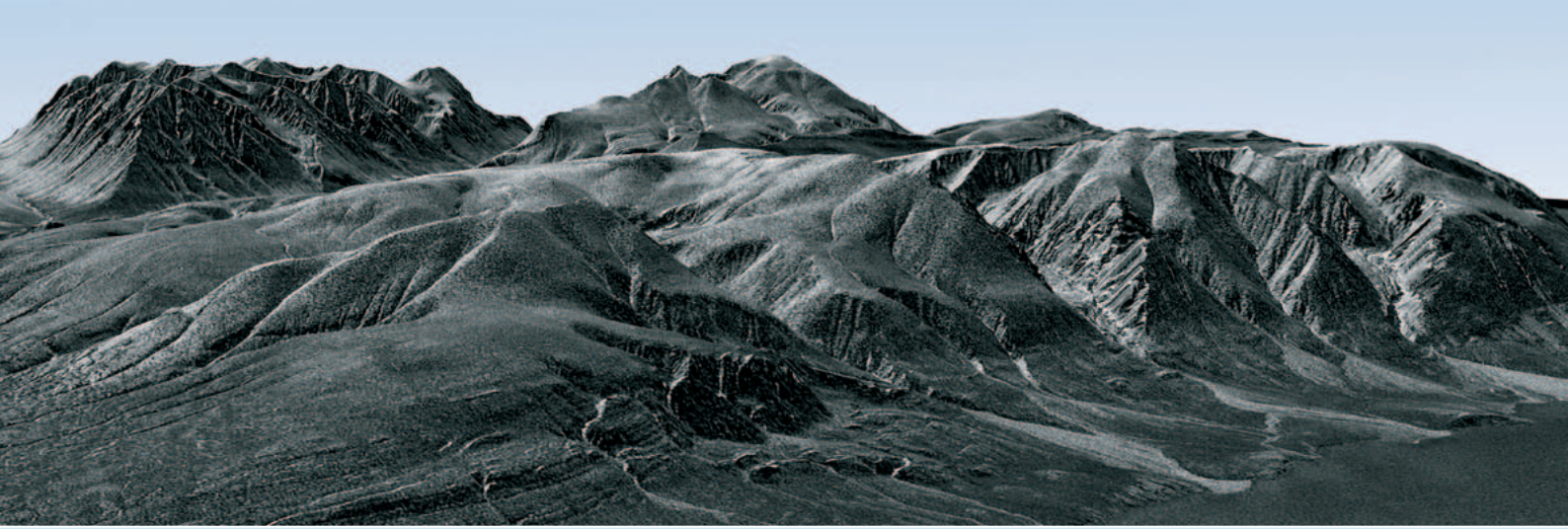
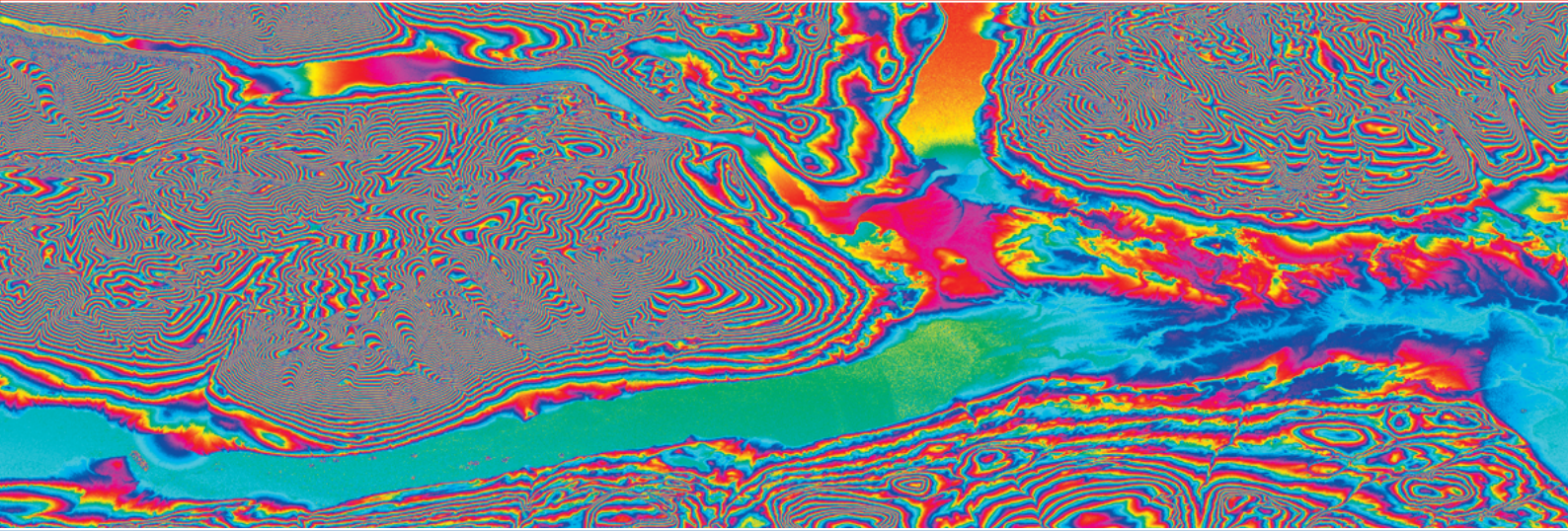
**Datenaufnahme nach dem Patchwork-Prinzip: Das
Planungssystem fügt zusammen, was zusammengehört**

Ein Jahr nach dem Start ist nun gut die Hälfte von insgesamt 150 Millionen Quadratkilometern der Landoberfläche aufgenommen. Das Ergebnis ist dennoch zurzeit nur ein Flickwerk der Erdoberfläche: „Wir planen genau, zu welchen Zeiten die beiden Satelliten im Formationsflug Aufnahmen machen sollen.“ Ein kniffliges Spielchen, denn zeitgleich soll auch die Mission TerraSAR-X, die auf Anforderung von Wissenschaftlern mit dem Satelliten TerraSAR-X einzelne Gebiete der Erde aufzeichnet, weiterlaufen. „Um die globale Abdeckung mit den beiden Satelliten sicherzustellen, haben diese Aufnahmen eine relativ hohe Priorität“, erläutert Manfred Zink den Spagat zwischen zwei Missionen. „Für die TerraSAR-X-Einzelaufnahmen bleibt dabei aber genug Spielraum, weil wir mit beiden Satelliten gleichzeitig nur immer in den Phasen arbeiten, in denen die Bedingungen ideal sind.“ Dafür entwickelte das Team ein Missionsplanungssystem, das die „Timelines“ beider Satelliten in Einklang bringt. „Wir haben zwei Inputs, und das Missionsplanungssystem muss die miteinander verheiraten.“ Der Empfang der Daten ist hingegen für die beiden Missionen strikt getrennt: Die Daten der TerraSAR-X-Mission werden in der DLR-Empfangsstation Neustrelitz empfangen, die Daten der TanDEM-X-Mission im schwedischen Kiruna, im kanadischen Inuvik, der Antarktis-Empfangsstation O’Higgins sowie in Mexiko. Fällt der Datenempfang zum Beispiel aus, weil die Wetterbedingungen an der jeweiligen Empfangsstation zu schlecht sind, wird umgehend neu geplant.

Liegen nach dem ersten Jahr die Daten für die komplette Erdoberfläche vor, beginnen die Satelliten für ein Jahr wieder von vorne mit ihrer Arbeit – dieses Mal in einem anderen Abstand zueinander. So wird das Höhenmodell der Erde, das während der Mission nach und nach entsteht, immer präziser. Selbst die Flugbahnen der Satelliten, die Doppelhelix, werden von den Wissenschaftlern des DLR dafür noch einmal „umgebaut“. „Die Satelliten blicken ja schräg auf die Erde und können bei ihrem ersten Überflug dann zum Beispiel einige Bereiche, die von den Satelliten abgewandt liegen, nicht detailliert aufzeichnen“, sagt Projektleiter Zink. Die Berge in den Alpen zum Beispiel hätten dann im Höhenmodell nur eine Flanke. „Deshalb tauschen wir die Anordnung der beiden Satelliten während der Mission aus und blicken dadurch auf die noch nicht erfassten Bereiche.“ So entstehen derzeit kontinuierlich viele kleine Stücke des Höhenmodells, die ab Mitte 2013 bearbeitet, kalibriert und zusammengefügt werden.

Bis Ende des Jahres werden die Wissenschaftler dann in die engste Formation der beiden Satelliten übergehen: 200 Meter wird der Abstand von TanDEM-X und TerraSAR-X im Weltraum dann nur noch betragen. „Damit gehen wir an die Grenze des Erlaubten“, sagt Projektleiter Manfred Zink. Die Herausforderungen für das Team um die Satelliten TerraSAR-X und TanDEM-X gehen also weiter. „Wir gehen zurzeit auch davon aus, dass der Radarsatellit TerraSAR-X noch ein Jahr länger fliegen wird“, betont Zink. Damit würde TanDEM-X auch nicht der Zwilling abhandenkommen. ●

Weitere Informationen:
www.DLR.de/eo



Die drei TanDEM-X-Aufnahmen zeigen die Ostküste Grönlands am 11. Januar 2011. Die vielen, sich zyklisch wiederholenden Farbverläufe im Interferogramm (Bild oben) rühren von den großen Höhenvariationen von etwa 1.700 Metern her. Die Daten aus dem Interferogramm werden in Höhenwerte umgerechnet, kartografisch ausgerichtet und können anschließend in einer künstlichen 3-D-Ansicht betrachtet werden (Bild Mitte). Gut zu erkennen sind helle Ausflüsse, die sich von den Hängen in das flache, zugefrorene Wasser ergießen. Im unteren Bild wurden die Höheninformationen noch zusätzlich farbkodiert, sodass eine Abbildung ähnlich denen in Atlanten entsteht.

Nicht ohne Risiko

Es gibt ein Risiko. Und hier ist nicht jene Gefahr für Leib und Seele gemeint, als erster Mensch die Erdanziehungskraft zu überwinden, ohne die Gewissheit, wohlbehalten wieder in die Atmosphäre einzutreten und gesund auf dem Boden zu landen. Hier ist das Risiko gemeint, 50 Jahre nach dem epochalen kosmischen Erstflug eine Ausstellung zu machen, die noch überrascht und nicht als bloßes Heldenpanorama erscheint. Damit würde man dem ebenso mutigen wie bodenständigen ersten Menschen im All nicht gerecht werden. Wobei bodenständig in diesem Zusammenhang im Sinn von erdverbunden verstanden werden soll. Denn dieser Juri Gagarin hatte ja auch etwas von einem Überflieger: Jung, körperlich fit, gutaussehend, humorvoll und ganz offenbar wagemutig. Aber eben auch bescheiden.

Eine Bilderausstellung ungewöhnlicher Art gibt Einblick in Juri Gagarins Leben

Von Cordula Tegen

Der Gagarin-Kenner Gerhard Kowalski stellt seinem Buch „Heute 6:07 UT“, das anlässlich des 50. Jahrestages des ersten Weltraumfluges erschien, ein Zitat des „Helden der Sowjetunion“ voran: „Es werden viele Aufsätze und Reportagen über den Raumflug geschrieben. Und alle schreiben über mich. Wenn ich einen solchen Beitrag lese, bin ich stets etwas peinlich berührt. ...Ich erscheine als ein Musterknabe, so gut und nett, dass einem ganz übel davon ist.“

Juri Gagarin heutzutage mit einer Ausstellung zu ehren, fordert den Gestalter heraus. Die vom DLR beauftragte CD Werbeagentur aus Troisdorf bei Köln ging dafür den Weg über ein lebenswichtiges Utensil der Raumfahrer – den Helm. Auf acht kleinen, einen Meter hohen Stelen ist jeweils ein solcher Helm abnehmbar installiert. Jeder birgt ein Display in sich, auf dem ein Abschnitt aus Gagarins Leben in Bildern dokumentiert ist, von seiner Jugend über das Kosmonautentraining, die Rückkehr zur Erde bis zu privaten Aufnahmen aus seinem Leben, unter anderem als Familienvater.

Mit Unterstützung der russischen Nachrichtenagentur Ria Nowosti, aus deren Fundus die Bilder stammen, entstand so eine kleine, variabel präsentierbare Ausstellung. Sie zeigt ein vielschichtiges Bild dieses außergewöhnlichen Mannes, dem Chefkonstrukteur Sergej Koroljow bereits vor dessen sehr erfolgreichem Hochschulstudium prophezeite, dass er das Zeug zu einem ganz Großen der Raumfahrt habe.

Ein Übungsflug des intelligenten, charmanten Raumfahrtpioniers, der aber eben nicht zu den allerbesten Piloten zählte, machte diese Hoffnung zunichte: Am 27. März 1968 verunglückte Juri Gagarin aus bis heute nicht genau geklärter Ursache tödlich. Da war er gerade 34 Jahre alt geworden.

Die mit wenigen Quadratmetern auskommende Ausstellung des DLR ehrt Juri Gagarin in einem ungewöhnlichen Format. Es kommt dezent daher, ist gut nachvollziehbar in acht Kapitel strukturiert und die wenigen, sehr sachlichen Textzeilen lassen dem Betrachter die Möglichkeit, sich sein eigenes Bild von der Persönlichkeit Juri Gagarin zu machen. Ein Bild von einem Helden, der er selbst gar nicht sein wollte und der dennoch in die Geschichte einging – als der erste Mensch im Weltraum. ●

Zum Thema neu erschienen:
„Heute 6:07 UT“
von Gerhard Kowalski

„Juri Gagarin - Das Leben“
von Ludmila Pavlova-Marinsky

Termine der Ausstellung:
20. Mai bis 14. Juli 2011:
Deutsche Raumfahrtausstellung
Morgenröthe-Rautenkranz

16. Juli 2011: DLR Stuttgart

18. September 2011:
Tag der Luft- und Raumfahrt
DLR Köln

Weitere Informationen:
www.DLR.de/100_Jahre



Bilder: © www.cdonline.de





Einfach gigantisch

An kaum einem anderen Ort der Welt spürt man den Atem der Luft- und Raumfahrtgeschichte so unmittelbar wie im Smithsonian National Air and Space Museum. Manch einer reist vor allem deswegen nach Washington D.C. . Die „Mission“ der Smithsonian Institution, die aus insgesamt 19 Museen und neun Forschungszentren besteht, lautet „Vermehrung und Verbreitung von Wissen“ (The increase and diffusion of knowledge). Verlassen die vielen jungen Besucher – von Kleinkindern bis zu Schülern und Studenten – am Ende eines Tages diesen Ort, so scheint nicht nur dieser Auftrag geglückt – ob der Faszination, die von den unzähligen Exponaten aus Luft- und Raumfahrt ausgeht, kann auch der Grundstein für eine diesbezügliche berufliche Laufbahn gelegt worden sein.

Ein Streifzug durch das Smithsonian National Air and Space Museum

Von Marco Trovatiello



Das Smithsonian National Air and Space Museum liegt unmittelbar an der National Mall in der Nähe des United States Capitol

Unmittelbar an der National Mall gelegen, die zugleich Nationalpark und „Geschichtsmeile“ der US-amerikanischen Hauptstadt ist, fällt das Air and Space Museum sofort auf. Der beeindruckende, 1976 fertiggestellte Gebäudekomplex war für den Architekten Gyo Obata eine Herausforderung: Wie gestaltet man ein Bauwerk, das so große Exponate wie Luft- und Raumfahrzeuge aufnehmen kann, ohne dass es das nahegelegene United States Capitol in den Schatten stellt? Dank eines minimalistischen Designs scheint die Umsetzung auch nach 35 Jahren immer noch gelungen.

Betritt man die große Eingangshalle, sucht man vergeblich nach einer Kasse: Der Eintritt ist, wie in den meisten Museen der Smithsonian Institution, frei. Hinter den Schaltern, an denen freundliche Senioren in ehrenamtlicher Arbeit die Besucher informieren, wird der Blick frei auf das Kommandomodul der Apollo 11-Mission, „Columbia“, das die Astronauten Neil Armstrong, Edwin „Buzz“ Aldrin und Michael Collins von der Erde zum Mond und sicher wieder zurückbrachte. Die „Milestones of Flight“-Gallery heißt den Besucher mit weiteren Highlights willkommen. Schon einmal ein echtes Stück Mondgestein berührt? – Der „Touchable Moon Rock“ macht's möglich, und er wird, dies gilt es zu bedenken, wohl von den meisten der jährlich 8,3 Millionen Besucher angefasst.

Weiter geht's zur Ausstellung „Space Race“. Der Raumfahrtenthusiast kommt aus dem Staunen nicht mehr heraus. Zahllose Ingenieur- und Testmodelle in Originalgröße zeigen authentisch Umfang und Beschaffenheit historischer und aktueller Raumflugkörper. Das Testmodell des Hubble-Teleskops ist riesig und lässt keinen Zweifel daran, warum es seit nunmehr 20 Jahren derart faszinierende Bilder des Weltalls liefert. Das zentrale

Die „Milestones of Flight“-Ausstellung befindet sich direkt hinter den beiden zentralen Eingängen und beherbergt zahlreiche spannende Exponate

Echtes Mondgestein zum Anfassen: Der „Touchable Moon Rock“ wird wahrscheinlich von den meisten der jährlich 8,3 Millionen Besucher berührt



Bild unten links: An den „Space for you“-Terminals kann der Nachwuchs schon mal üben. Hier sieht man einen zukünftigen „Flight Director“ bei der Arbeit. Bild unten rechts: Warum können Flugzeuge und Raumschiffe fliegen? „How things fly“, die vielleicht interaktivste Ausstellung des Hauses, erklärt es anschaulich.



Modul der ersten – und wenn man es genau nimmt, bisher einzigen – Raumstation der USA mit dem schönen Namen „Skylab Orbital Workshop“ sieht aus wie eine gigantische Getränkedose und ist sogar begehbar. Mit 15 Meter Länge ist es größer als Swesda, das mächtigste Modul unseres derzeitigen Außenpostens im Orbit, der Internationalen Raumstation ISS.

Ein minutiöser Nachbau der V2-Rakete vergegenwärtigt mit Hilfe anschaulicher Info-Tafeln den Zusammenhang zwischen dem Vernichtungsfeldzug des Nazi-Regimes und der Tatsache, dass genau diese Rakete als erstes Objekt den Weltraum erreichte – Raumfahrtgeschichte zum Anfassen. Nur ein paar Schritte weiter kann man sich, wiederum in realer (und beeindruckender) Größe, das Landemodul der Apollo-Mondmission ansehen. Auch hier handelt es sich um ein „Backup“, also nicht um ein Modell, sondern den Ersatz des geflogenen Originals – Authentizität pur.

Vieles mehr gibt es zu entdecken: Die Spirit of St. Louis, mit der Charles A. Lindbergh 1927 der erste alleinige Nonstop-Transatlantik-Flug gelang. Mercury „Friendship 7“, die John H. Glenn im Februar 1962 als ersten US-Amerikaner in den Welt-raum brachte. Mariner 2, die erste Raumsonde, die brauchbare wissenschaftliche Informationen eines anderen Planeten – der Venus – zur Erde funkte. Die Bell X-1, das erste Flugzeug, das schneller als der Schall flog ... die Liste ließe sich schier endlos fortführen. Doch sie soll hier nicht enden, ohne zumindest kurz die wunderbaren interaktiven Ausstellungen zu erwähnen. An den „Space for you“-Terminals kann das junge Publikum nicht nur die Karriere in Luft- und Raumfahrt planen, sondern die entsprechenden Jobs auch gleich mal ausprobieren. „How things fly“, die vielleicht interaktivste Ausstellung, erklärt anschaulich, wie und warum Flugzeuge, Raumschiffe und mit ihnen eben auch Menschen fliegen können.

Wer am Tag des Rückflugs noch Zeit hat, sollte sich das 2003 eröffnete Steven F. Udvar-Hazy Center am Washington Dulles International Airport nicht entgehen lassen. In den Hangars warten derzeit die Enterprise, der Prototyp der bald außer Dienst gestellten Spaceshuttle-Flotte – und in naher Zukunft die außer Dienst gestellte Discovery –, eine Concorde und viele weitere historische Luft- und Raumfahrzeuge auf die Besucher. Diese im Dezember 2003 eröffnete und lang ersehnte Erweiterung bot endlich genügend Platz für viele Exponate, die bis dahin nicht gezeigt werden konnten. Das Smithsonian National Air and Space Museum verfügt mit diesen beiden Standorten über die wohl größte Sammlung von Exponaten der Luft- und Raumfahrt. Dass sie einen Besuch wert ist, vermitteln hoffentlich dieser Text und diese Bilder. ●

Weitere Informationen:
www.nasm.si.edu



Das Apollo-Mondlandemodul Nummer 2

© Eric Long, National Air and Space Museum, Smithsonian Institution

Rezensionen

Die ganze Welt zwischen zwei Buchdeckeln



Der Blick in die Weltgeschichte ist oftmals ebenso kompliziert wie mühsam, die Beschäftigung mit der Historie eignet sich eben nur bedingt als entspannende Abendlektüre. Eine Ausnahme bildet eine umfangreiche und buchstäblich schwerwiegende (2,5 Kilogramm!) Anthologie aus dem **Verlag Galiani Berlin**, die unter dem vielversprechenden Titel **Nichts als die Welt – Reportagen und Augenzeugenberichte aus 2500 Jahren** Ereignisse und Geschichten von der Antike bis in die Gegenwart in einer noch nicht erlebten Komplexität ausbreitet.

154 Reportagetexte sind dabei nicht nur ein faszinierendes Kaleidoskop der Jahrhunderte, sondern auch eine Hommage an die Reportage, die Königsdisziplin des journalistischen Handwerks. Der Leser schaut dabei namhaften Autoren der Weltliteratur über die Schulter wie auch in die Notizblöcke unbekannter Chronisten. Man steht beispielsweise gemeinsam mit Plinius fassungslos vor dem Ausbruch des Vesuv, man erlebt zusammen mit Walt Whitman das tödliche Attentat auf Abraham Lincoln, man genießt gemeinsam mit Oscar Wilde amerikanische Impressionen und verfolgt zusammen mit Hannah Arendt die unfassbaren Rechtfertigungsversuche Eichmanns vor dem Jerusalemer Gericht. Die denkbar breite Themenpalette reicht von Perikles und seinen Athenern bis hin zum Mauerfall von Berlin und einigen Ausblicken ins dritte Jahrtausend.

Zahlreiche Texte sind in diesem unglaublichen Kompendium erstmals auf Deutsch veröffentlicht, man liest sich nicht nur einmal fest, das Buch fesselt viele lange Abende. Die Reportagen werden kongenial ergänzt durch zwölf Schwarz-Weiß-Fotoreportagen sowie durch eine „Bibliothek des Reporters“,

in welcher der Herausgeber Georg Brunold, langjähriger Autor und Chefredakteur einer Schweizer Kulturzeitschrift, Einblicke in die eigene Werkzeugkiste seiner Reporterlaufbahn gewährt.

85 Euro sind gewiss ein stolzer Preis, aber für einen solchen, alles umfassenden Prachtband eine gute Langzeitinvestition. Kompakter, verständlicher und dies auf einem derart hohen literarischen Niveau ist Weltgeschichte noch nicht zwischen zwei Buchdeckel gebracht worden.

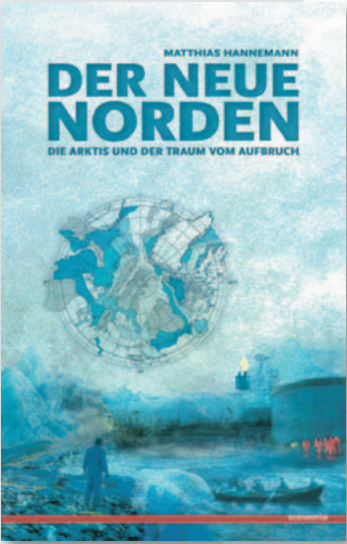
Hans-Leo Richter

Bauchladen voller Erklärungen

Vorsicht vor den Überschriften! Man könnte sonst nämlich von Felix R. Paturis **Die letzten Rätsel der Wissenschaft (Piper)** einen falschen Eindruck gewinnen – und das Taschenbuch schneller zur Seite legen als nötig. „Tsunamis – Riesenwellen rasen über den Ozean“, „Methaneis am Meeresgrund – Todesfalle und potenzielle Energiequelle“ oder auch „Geistheiler – wissenschaftliche Experimente mit erstaunlichen Ergebnissen“ – so reißerisch die Überschriften klingen, so gut lesbar und fundiert sind nämlich die Antworten, die Paturi in seinen Kapiteln gibt.

Zu jedem Thema hat der Autor die Fakten aufbereitet, stellt unterschiedliche Erklärungsansätze vor und legt dabei großen Wert auf Verständlichkeit. Dabei steht nicht die (meist gar nicht mögliche) Lösung der Wissenschaftsrätsel im Mittelpunkt, sondern die Wissenschaft, die diesem Rätsel mit unterschiedlichen Herangehensweisen auf den Grund gehen will. Da jedes Kapitel für sich steht, muss das Taschenbuch auch nicht systematisch von vorne bis hinten gelesen werden. Stattdessen bietet es sich an, in diesem „Bauchladen“ von Themen immer wieder zu stöbern. Den einen Leser mögen Dunkle Materie, Strings und die Artenvielfalt interessieren, den anderen Leser Themen wie die Gottesbeweise, Halluzinogene oder die Primzahlen. Etwas Spannendes findet in diesem Sammelsurium ungelöster Rätsel durchaus jeder.

Manuela Braun



Vision für den Norden

Nicht mehr lange, dann wird Schweden einen Weltraumbahnhof haben. Einen Flugplatz nahe der alten Erzminenstadt Kiruna, von dem aus die Weltraumtouristen ins All starten. Viel Platz, wenig Flugverkehr und einen Vertrag mit dem privaten Raumfahrt-Unternehmen Virgin Galactic – Matthias Hannemann schnappt nach Luft, als er auf seinen Reisen durch den „Neuen Norden“ in der Wildnis auf solche Visionen stößt. „Der Aufbruch kommt, sagen sie im Norden. Vielleicht kommt er nicht morgen. Vielleicht kommt er anders als gedacht. Aber er kommt.“ Der Autor hat sich auf den Weg in eben diesen Norden gemacht, ist mit Auto, Zug und Schiff bis nach Grönland, Nyksund, Hammerfest oder eben Kiruna gereist und hat sich Gesprächspartner gesucht, die ihm vom Aufbruch im Norden erzählen. Wenn mit dem Klimawandel vielleicht zunehmend Rohstoffreserven zugänglich werden, kommt er vielleicht, der Aufschwung.

In seinem Buch **Der neue Norden** – Die Arktis und der Traum vom Aufbruch (**scoventa Verlagsgesellschaft**) schafft Hannemann den Spagat zwischen der Vermittlung vieler Fakten und der fast schon poetischen Beschreibung seiner Reise. Interessiert und oftmals ein wenig ungläubig hört der Nordeuropa-Liebhaber den Menschen vor Ort zu, lässt sich von Zukunftsvisionen erzählen und fragt, was aus Natur und Traditionen werden wird. Man merkt dem Buch an, dass dort jemand unterwegs war, der selbst dem Norden schon längst verfallen ist – und der seine berechtigten Zweifel daran hat, dass der Aufbruch im Norden nur gute Seiten haben wird. Sein Fazit bleibt dennoch positiv: „Die Menschen im Norden, die groß denken und Pläne schmieden, sind nicht naiv. Wenn man es zulässt, dass einen die Zukunftsangst beherrscht, muss man gar nicht erst aufbrechen.“

Manuela Braun

Was ich nicht weiß, ...

„Das brauch ich doch nie wieder!“ – Der Satz bleibt hängen, ist mit der Erinnerung an die Schulzeit, insbesondere an den Mathematikunterricht verknüpft. Doch er ist falsch! Das meint zumindest Mathematikprofessor John D. Barrow. Unter dem Titel **100 Dinge, von denen du nicht wusstest, dass du sie nicht wusstest (Rowohlt Taschenbuch Verlag)** räumt er mit diesem Vorurteil auf. Mit Mathematik erklärt er die Welt.

Wer hat sich nicht schon mal gefragt, warum er immer die längste Warteschlange an der Kasse erwischt? Und wie funktionieren eigentlich Kreditkarten oder Barcodes? 100 Fragen, 100 mathematische Antworten. Dabei gelangt der Leser zu teilweise verblüffenden, wenn auch nicht immer lebensnotwendigen Erkenntnissen. Wer hätte zum Beispiel gedacht, dass man gerade einmal 23 Leute einladen muss, um mit einer Wahrscheinlichkeit von 50 Prozent zwei zu erwischen, die am gleichen Tag Geburtstag haben?! Doch so anschaulich einige der Geschichten sind, so schwer verständlich sind andere. Oft tauchen komplizierte Formeln auf, die nur nachvollzogen werden können, wenn man die Aufgaben mit Blatt und Stift mitrechnet. So verdirbt einem ein Text mit Zahlen gespielt eher die Leselaune, als dass er die Neugier befriedigt. Glücklicherweise ist das Buch übersichtlich aufgebaut, bei Nichtgefallen blättert man einfach ein paar Seiten weiter und widmet sich dem nächsten mathematischen Rätsel.

Fazit: Mathe-Fans könnten Freude daran haben. Die anderen blättern vielleicht erst einmal in dem 330-Seiten-Büchlein und überlegen, ob sie es wirklich brauchen.

Alisa Wilken



Das DLR im Überblick

Das DLR ist das nationale Forschungszentrum der Bundesrepublik Deutschland für Luft- und Raumfahrt. Seine umfangreichen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten in Luftfahrt, Raumfahrt, Energie, Verkehr und Sicherheit sind in nationale und internationale Kooperationen eingebunden. Über die eigene Forschung hinaus ist das DLR als Raumfahrt-Agentur im Auftrag der Bundesregierung für die Planung und Umsetzung der deutschen Raumfahrtaktivitäten zuständig. Zudem fungiert das DLR als Dachorganisation für den national größten Projektträger.

In den 13 Standorten Köln (Sitz des Vorstands), Berlin, Bonn, Braunschweig, Bremen, Göttingen, Hamburg, Lampoldshausen, Neustrelitz, Oberpfaffenhofen, Stuttgart, Trauen und Weilheim beschäftigt das DLR circa 6.900 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter. Das DLR unterhält Büros in Brüssel, Paris und Washington D.C.

Impressum

DLR-Magazin – Das Magazin des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt

Herausgeber: Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR)

Redaktion: Sabine Göge (ViSdP),
Cordula Tegen (Redaktionsleitung)
An dieser Ausgabe haben mitgewirkt:
Manuela Braun, Franz Büsing, Lena Fuhrmann,
Hans-Leo Richter, Marco Trovatiello, Alisa Wilken,
Michel Winand

DLR-Kommunikation
Linder Höhe
51147 Köln
Telefon: 02203 601-2116
Telefax: 02203 601-3249
E-Mail: kommunikation@dlr.de
www.DLR.de/dlr-magazin

Druck: Druckerei Thierbach,
45478 Mülheim an der Ruhr

Gestaltung: CD Werbeagentur GmbH,
53842 Troisdorf, www.cdonline.de

ISSN 2190-0094

Onlinebestellung:
www.DLR.de/magazin-abo

Nachdruck nur mit Zustimmung des Herausgebers und Quellenangabe. Die fachliche Richtigkeit der Namensbeiträge verantworten die Autoren. Hinweis gemäß § 33 Bundesdatenschutzgesetz: Die Anschriften der Postbezieher des DLR-Magazins sind in einer Adressdatei gespeichert, die mit Hilfe der automatischen Datenverarbeitung geführt wird. Gedruckt auf umweltfreundlichem, chlorfrei gebleichtem Papier. Bilder DLR, soweit nicht anders angegeben.



**Deutsches Zentrum
für Luft- und Raumfahrt e.V.**
in der Helmholtz-Gemeinschaft

