



Das Magazin des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR) · www.DLR.de · Nr. 132 · November 2011

magazin 132

Und täglich grüßt der Pinguin

20 Jahre DLR-Antarktisstation GARS O'Higgins

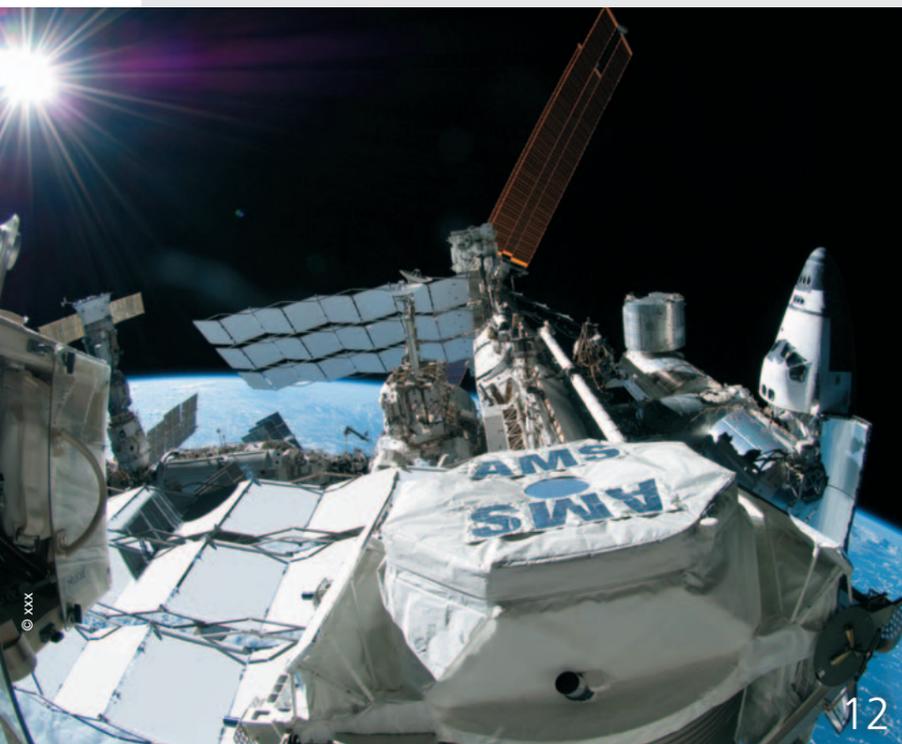
Auf der Suche nach Antimaterie

Interview mit Stephan Schael über das
Alpha-Magnet-Spektrometer auf der ISS

Ohne dass was bleibt

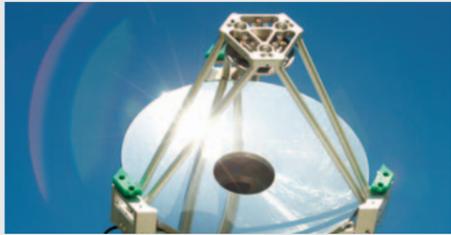
Wege zum CO₂-freien Kraftwerk

DLR magazin 132



Gespräch zum bahnbrechenden Projekt AMS

Das Attribut „bahnbrechend“ trifft hier ins Schwarze: Mit AMS, dem tonnenschweren Alpha-Magnet-Spektrometer, umrundet ein Forschungsgerät der Superlative auf der Internationalen Raumstation ISS seit Mai diesen Jahres die Erde. Es ist nicht nur eines der größten Geräte auf der ISS, von ihm wird auch Einzigartiges erwartet. Zur Aufgabe des Teilchendetektors sagt der deutsche Projektleiter Prof. Dr. Stefan Schael: „Wenn wir keine Antimaterie finden, können wir mit guter Wahrscheinlichkeit davon ausgehen, dass es im gesamten Universum keine gibt.“ Oder kann am Ende doch die derzeit gültige Hypothese, dass nach dem Urknall ebensoviel Materie wie Antimaterie entstand, belegt werden? Im Interview mit Schael wird deutlich, wie die „Kamera für Dunkle Materie“ arbeitet und warum sie auf der ISS am rechten Ort ist.

Editorial	3
EinBlick	4
Leitartikel Luftfahrt 2050	6
Meldungen	8
Endlich zur richtigen Zeit am richtigen Ort Lässt sich mit AMS die Existenz von Antimaterie und Dunkler Materie nachweisen?	12
Bilder einer neuen, alten Welt Raumsonde Dawn am Asteroiden Vesta	18
	
Eiskalte Röhre für heißes Plasma Neue Simulationsanlage in Göttingen testet Ionenantriebe für die Raumfahrt	20
Alarm im All Immer mehr Objekte sind auf Kollisionskurs – DLR-Forscher arbeiten an deren Erfassung	24
Der erste Verfolger Endlich ein Astronaut: John Glenns historischer Start ins All jährt sich zum 50. Mal	28
	
Laserkommunikation hebt ab DLR-Experten erkunden den Einsatz optischer Datenübertragung zwischen Luft und Boden	30
Galileo im Aufstieg Das europäische Satellitennavigationssystem nimmt Form an	36
Emissionsfrei zur Startbahn Brennstoffzellengetriebenes Bugrad bringt den A320 ATRA zum Rollen	40



Zukunftszug kommt in Fahrt
Das Konzept für den Next Generation Train steht 44

Ohne dass was bleibt
Wege zum CO₂-freien Kraftwerk 46



360 Grad der Sonne nach
DLR entwickelt Qualitätsstandards für effizientere Solarkraftwerke 50

Alles fest im Griff
Im Zentrum für Leichtbauproduktionstechnologie legen Roboter im Duo Hand an 52



Und täglich grüßt der Pinguin
20 Jahre DLR-Antarktisstation GARS O'Higgins 54

Regionalmeldungen 60



Ein Kunstwerk wie ein Flug ins All
Nach 50 Jahren bemannter Raumfahrt begegneten sich Raumfahrt und Kunst 62

Rezensionen 66



Liebe Leserinnen und Leser,

2011 ist ein bewegtes und ein bewegendes Jahr für das DLR. Der Start der ersten beiden Galileo-Satelliten ist noch präsent, ebenso das Experiment Mars500. Über die unglaubliche Suche nach Antimaterie mit dem Massenspektrometer AMS auf der ISS ist in diesem Heft zu lesen. Die Wende in der Energiepolitik gibt der DLR-Solarforschung neuen Schwung, das brennstoffzellenbetriebene Bugrad eröffnet dem rollenden Verkehr an Flughäfen neue Wege. Mit der Katastrophenhilfe für Japan haben wir einmal mehr gezeigt, wie wertvoll der Blick aus dem All ist. Aber auch das großartige allgemeine Interesse am DLR bleibt durch den Tag der Luft- und Raumfahrt im Gedächtnis.

Die Aufzählung ist natürlich nicht vollständig – das DLR hat noch viel mehr erlebt. Doch eines haben alle Themen gemeinsam: Die herausragenden Ergebnisse in Forschung und Wissenschaft wurden immer im Team erzielt.

Eines unserer kleinsten Teams sitzt wahrscheinlich in der DLR-Antarktisstation O'Higgins. Bei bis zu minus 25 Grad Celsius sind hier zwei Mitarbeiter des Deutschen Fernerkundungsdatenzentrums des DLR verantwortlich für den Betrieb der fernen Antennen-Station. 365 Tage im Jahr, 24 Stunden am Tag ist die Polarstation besetzt. Hier ist Teamwork von entscheidender – wenn nicht überlebenswichtiger – Bedeutung. Doch nicht nur unter Extrembedingungen wird TEAM im DLR groß geschrieben. Die beiden Radarsatelliten TerraSAR-X und Tandem-X etwa wären ohne hartnäckige Wissenschaftler und eine zuverlässige Betriebsmannschaft nicht möglich, ein Projekt wie der Zug der nächsten Generation im Alleingang nicht realisierbar.

Im Kleinen wie im Großen – viele unserer wissenschaftlichen Arbeiten sind nur dadurch möglich, dass verschiedene Institute, Fachrichtungen, Organisationseinheiten und Wissenschaftler in einem Team, an einem Ziel arbeiten. Diese Möglichkeiten der Zusammenarbeit, diese Vielfalt an Disziplinen, diese strukturellen Rahmenbedingungen im DLR sind unschätzbare Werte, die es zu pflegen und immer weiter auszubauen gilt.

Denn es geht auch um die Frage der Zukunft des DLR. Welche Voraussetzungen werden wir in den nächsten Jahren vorfinden? Wie sieht der Wettbewerb aus, dem sich das DLR in Zukunft stellen muss? Wie kann exzellente Arbeit im DLR dauerhaft gesichert werden? Alles Fragen, auf die es keine einfachen Antworten gibt. Viele externe Einflüsse aus Politik und Wirtschaft können wir nicht steuern. – Aber wir können uns als Team aufstellen, um auf zukünftige Rahmenbedingungen optimal vorbereitet zu sein!

Was uns so optimistisch macht? Es ist die Faszination für die Forschung, die Begeisterung, Teil eines Veränderungsprozesses zu sein und am Ende das Gefühl, ein Mitglied eines Teams zu sein, das die Zukunft mit gestaltet, eines Teams für das „Wissen von morgen“.

In diesem Sinne blicke ich voller Vorfreude ins neue Jahr.

Sabine Göge
Leiterin DLR-Kommunikation

EinBlick

Marsianische Farbpalette

Der Südpol des Mars nach sechs Wintermonaten: Die Sonne kehrt zurück und bringt die Vulkanebene Promethei Planum mit ihren hellen, irdenen Farbtönen zum Leuchten.

Unwirklich wirkt die Szene, sie mutet an wie aus Tüben gepresste Farben, die ein Künstler auf seiner Palette vermischt. Tatsächlich handelt es sich um Eisreste und Raureif aus Kohlendioxyd und Wasser, die bis zum Sommer fast vollständig verdampfen, ehe das mars-typische Ocker von oxydierten eisenhaltigen Mineralen wieder dominiert.

Festgehalten wurde die Szene mit der vom DLR betriebenen Stereokamera HRSC auf der ESA-Sonde Mars Express. Am 4. November 2011 umrundete der Orbiter zum zehntausendsten Mal den „Roten Planeten“.



Luftfahrt 2050

Mit Fantasie und Bedacht zu einem ökologisch und ökonomisch effizienten Transportsystem

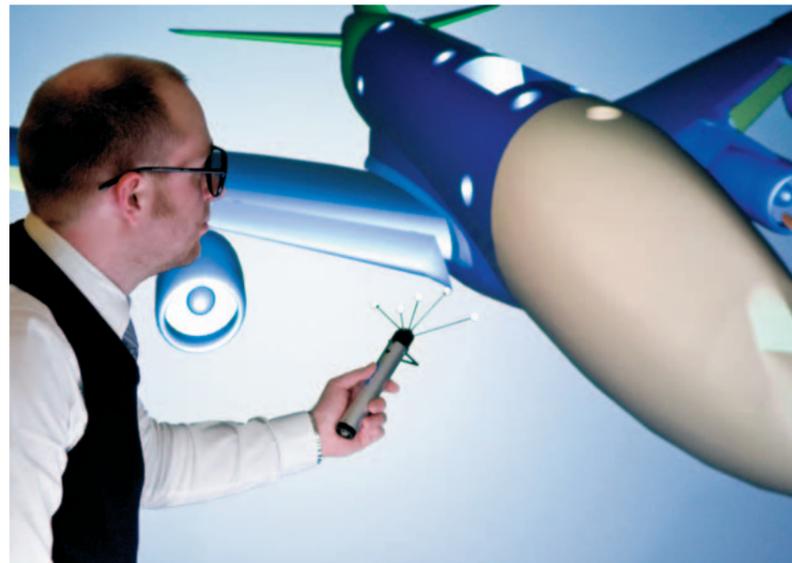
Von Rolf Henke

Uni.-Prof. Dipl.-Ing. Rolf Henke ist seit dem 1. November 2010 im Vorstand des DLR zuständig für den Bereich Luftfahrt. Henke wurde 1956 in Lüdenscheid geboren und studierte Luft- und Raumfahrttechnik an der Technischen Universität Berlin und am Cranfield Institute of Technology (heute Cranfield University), England. Zu Beginn seiner Laufbahn arbeitete er bei MBB (Messerschmitt-Bölkow-Blohm, heute Airbus Operations GmbH). 2006 wechselte Henke als Professor für Luft- und Raumfahrttechnik an die Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule (RWTH) Aachen und leitete das Institut für Luft- und Raumfahrt (ILR).

Wie sieht die Luftfahrt im Jahr 2050 aus? Nüchterne Passagier- und Umsatzzahlen taugen als Antwort nicht, erwartet werden wohl eher Szenarien mit schwebenden Taxis, goldglänzenden Hyperschalljets und riesigen Luftfrachtern. Filme wie „Star Wars“ oder „Das 5. Element“ gäben eine gute Antwort – wenn wir das Zentrum für Deutsche Luftfahrt-Romane wären. Zwar habe ich immer gerne intelligente Science-Fiction gelesen, Geschichten von Philip K. Dick, Frederik Pohl, Stanisław Lem oder Robert Silverberg, aber als „Vorstand Luftfahrt“ unseres nationalen Forschungszentrums sollte ich den Boden nicht zu weit verlassen.

Die Frage nach der Zukunft der Luftfahrt kann nicht getrennt von der Gesamtentwicklung unserer Welt gesehen werden: Wirtschaft, Bildung, Vermögen, ..., all das wird auch die Luftfahrt prägen. Wie ist der Wohlstand in 40 Jahren verteilt; wird es vielleicht weniger Ferienflieger geben, dafür mehr Business Jets? Mit welchen Konflikten hat die Welt im Jahr 2050 zu tun? Gibt es noch Transportflugzeuge oder nur noch unbemannte Vehikel, die sogenannten UAV? Wie wird sich die Elektronik weiterentwickeln?

Mit einer Vorhersage bin ich mir sicher: So, wie Sonnenbanken kaum den Strandurlaub ersetzen können, werden Videokonferenzen auch nicht die persönliche Besprechung ersetzen. Und es wird weiter Güter geben, die rasch an Wert verlieren und schnell transportiert werden müssen. Daher wird es auch im Jahr 2050 Passagier- und Frachtflugzeuge geben – und da wir in unseren archaischen Strukturen verhaftet sind, wohl auch fliegendes militärisches Gerät. Damit die technisch interessierten Leser nun aber nicht desillusioniert weiterblättern, hier doch noch ein Ausblick auf die Zukunft:



Bauteile künftiger Luftfahrzeuge nehmen zunächst virtuell Gestalt an. Dank der sogenannten Powerwall können die Konstrukteure das Produkt schon ansehen, wenn es erst im Rechner existiert – und zwar aus allen Richtungen. Hier betrachtet Marc Tegeler ein 3-D-Modell eines A 380. Die Projektoren für das Wandbild befinden sich im Innern der Powerwall.

Bei den Einzeltechnologien werden die Assistenzsysteme an Bedeutung gewinnen, wir werden die Luftströmung besser beherrschen, genaue Kenntnis von Materialeigenschaften unter Last haben und den Einsatz des jeweils bestgeeigneten Materials für Flügel, Rumpf, Leitwerk sicherstellen – wenn es diese Trennung von Komponenten überhaupt noch gibt. Effizienz und Verfügbarkeit der Luftfahrzeuge werden steigen.

Hinsichtlich der Großkomponenten werden wir die heutigen Triebwerke – wie überhaupt auch die heutigen Flugzeuge – auch 2050 noch in Betrieb sehen, allerdings werden alternative Antriebe wie auch Kraftstoffe den Markt mehr und mehr durchdringen. Die heutige differenzielle Flugzeug-Bauweise (Flügel, Rumpf, Triebwerke, Leitwerk) hat viele Vorteile; die – damit zusammenhängende – Trennung von Auftrieb und Vortrieb ebenfalls; die Natur lehrt uns aber die Effizienz integraler Bauweisen. Doch es wird wohl noch mehr als 20 Jahre dauern, bis wir für Letzteres die Materialien, Systeme und Konstruktionswerkzeuge zulassungsreif entwickelt haben und unsere Philosophie umstellen können. Großkomponenten heutiger Art wird es also noch längere Zeit geben. Bei den Flugzeugen erwarte ich einen kleinen Markt für Überschallflugzeuge; kurzstartfähige Zubringerflugzeuge werden unsere Großflughäfen entlasten, Fracht kommt zunehmend unbemannt ans Ziel, wird also mit UAV transportiert; vielleicht wird es auch den Superfrachter in Form des Nurflüglers geben. Überhaupt werden unbemannte Luftfahrzeuge den Luftverkehr weiter durchdringen, ihr Einsatz zur Überwachung des Verkehrs, Kontrolle von Pipelines, Materiallieferung an schwer zugängliche Orte et cetera ist absehbar.

Die Abläufe am Boden werden sich ändern: Sicherheitskontrollen werden großflächiger angelegt sein, die Prozesse an Flughäfen laufen schneller. Über Gesamtsystemanalysen und -synthesen, unter Einschluss der Integration mehrerer Verkehrsträger wird es möglich sein, die Auswirkungen von Ereignissen wie Vulkanausbrüchen auf das fragile System zu minimieren; der Transport wird verlässlicher.

Gesteuert werden diese Entwicklungen über Anforderungen, und zwar sowohl an die äußere Wirkung des Flugzeugs bzw. des Luftverkehrs (Lärm, Emissionen, Bodenabläufe, Energie- und Rohstoffbilanzen) als auch an innere Eigenschaften (Komfort, Personalaufwand und Kosten): Beides waren und sind die Treiber für neue Technologien und Entwicklungen. Ein Beispiel für das Steuern der Entwicklung mittels Anforderungen ist die neue Luftfahrtvision der Europäischen Kommission, formuliert im Dokument „Flightpath 2050“, an dem das DLR als einziges europäisches Forschungszentrum mitgewirkt hat. Tatsächlich würde ich mich über noch mehr und anspruchsvollere Forderungen an die Luftfahrt freuen: Zum einen führen sie zu spannenden Forschungsaufgaben, zum anderen eben auch zu einer grundsätzlichen Veränderung.

Die DLR-Luftfahrtforschung ist für die Zukunft schon recht gut aufgestellt: Experiment, Simulation und Datenmanipulation sind die drei Schlüsseltechnologien, und unsere gemeinsame Aufgabe ist die Verbindung aller disziplinären Themen zum Verständnis des gesamten Lufttransportsystems, von der Aerodynamik über die Lebenszyklusanalyse bis zur interaktiven Gesamtsystemsimulation. Dieser Aufgabe stellen wir uns im Interesse einer für den Nutzer komfortablen und für die Gesellschaft ökologisch und ökonomisch effizienten Luftfahrt der Zukunft.

Die vier Programme des DLR fließen dabei an spannenden Schnittstellen zusammen: Luftfahrt und Verkehr beispielsweise an den Flughäfen beziehungsweise bei intermodalen Lösungen; Luftfahrt und Energie bei der Schub- und Sekundärenergie-Erzeugung; Luft- und Raumfahrt bei Kommunikation und Navigation über Satelliten et cetera. Die Leistungsfähigkeit des DLR hat dabei ihre Wurzeln in seinen Instituten. Ein Programm Luftfahrt entsteht aber erst durch die Zusammenarbeit mehrerer Institute, und die des DLR über die Zusammenarbeit aller Programme. Dabei alles zusammen im Blick zu haben, die Anforderungen der Zukunft, die Erfahrungen der Vergangenheit, die sichtbaren Entwicklungspfade, und dazu den Mut zum Betreten unbekannter Pfade aufzubringen, wird den Erfolg ausmachen – so gut, wie uns allen zusammen das gelingt, so gut wird die Luftfahrt im Jahr 2050 aussehen! ●

Meldungen



Die zweimotorige CASA 212 der spanischen Partner rollt zum Einsatz

Die Wissenschaftler wollen die urbane Landbedeckung und die entsprechenden Oberflächenmaterialien klassifizieren und die thermale Ausstrahlung der Erdoberfläche messen. So werden die Effekte urbaner Hitzeinseln in Bezug zu unterschiedlichen städtischen Strukturen und zum Umland messbar. Daraus erhofft man sich für die Stadtplanung Informationen über die Bauweisen mit positiven Auswirkungen auf das Klima.

Mit Datenaufnahmen in Höhen von 1.000 bis 2.000 Metern über Grund einmal am Tag sowie einmal in der Nacht wird die zeitliche Veränderung urbaner Hitzeinseln durch das Abkühlungsverhalten verschiedener Oberflächenmaterialien analysiert. Die Befliegung wurde im Rahmen des Projekts EUFAR durch die Europäische Kommission finanziert. Erste Ergebnisse werden Anfang 2012 vorliegen.

www.eufar.net
www.inta.es

Hitzeinseln im städtischen Raum auf der Spur

Wo entstehen im städtischen Raum sogenannte Hitzeinseln und welche Folgen hat das? Um das herauszufinden, wurden im Projekt UR-TIR (Urban mapping with airborne thermal infra red imagery) die Stadtgebiete Bochums sowie die Stadtregionen München und Regensburg befliegen.

Dabei stützt sich die Mission, die in Kooperation des DLR mit dem Geographischen Institut der Ruhr-Universität Bochum durchgeführt wurde, auf die Datenaufnahme mit einem hyperspektralen Fernerkundungssensor AHS (Airborne Hyperspectral Scanner). Dieser Sensor sowie das Flugzeug als Versuchsträger – eine zweimotorige CASA 212 – wurde vom spanischen Institut für Luft- und Raumfahrttechnik INTA (Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial) zur Verfügung gestellt.



Die Bauweise des neuen DLR-Laborgebäudes in Bremen lässt Einblicke in die Arbeit an künftigen Satelliten zu

Neues Laborgebäude für Satellitentechnik im DLR Bremen

Für die Entwicklung komplexer Raumfahrtssysteme steht dem DLR ein neues Laborgebäude an seinem Standort Bremen zur Verfügung. Auf 3.300 Quadratmetern bauen Wissenschaftler und Ingenieure Forschungsatelliten zusammen und testen sie. Zudem entwickeln sie Steuerungssysteme für Raumfahrzeuge.

Das 2007 auf dem Campus der Universität Bremen gegründete DLR-Institut für Raumfahrtssysteme hat derzeit 160 Beschäftigte. Sie können nun unter einem Dach effektiv zusammenarbeiten. Der interessierten Öffentlichkeit bieten sich durch mehrere Besuchergalerien im Gebäude direkte Einblicke in die aktuelle Forschungsarbeit.

<http://s.DLR.de/q0d6>

Weniger Schwingungen: DLR testet neues Eurocopter-System

Ein neuartiges System zur Unterdrückung von Schwingungen, das von der EADS-Tochter Eurocopter entwickelt wurde, hat im DLR Göttingen diverse Tests durchlaufen. Das System dämpft die Schwingungen dort, wo sie entstehen: am Hubschrauberrotor. Die neue Technik beugt dem schnellen Ermüden von Bauteilen in der Hubschrauberzelle vor und bringt auch mehr Komfort für die Passagiere.

Das DLR-Institut für Aerolastik ist im Bereich Schwingungsuntersuchungen führend in Europa. Für den Test des neuen Eurocopter-Systems wurden die Rotorschwingungen eines EC 135 auf dem Prüfstand elektrodynamisch simuliert. Dabei ermittelten die Wissenschaftler, wie effektiv das neue System den künstlichen Schwingungen entgegenwirkt. Die verwendeten Schwingungstilger werden bereits im größeren Maßstab zur Stabilisierung von Bauwerken bei starken Winden und Erdbeben eingesetzt.

<http://s.DLR.de/02s2>



An einem Hubschrauber vom Typ EC 135 werden im Flug auftretende Rotorschwingungen simuliert. Dazu ist er in dieser Versuchsanordnung am Rotorkopf fixiert.

Braunschweig: DLR ist in das Verkehrsforschungsprojekt AIM gestartet



Das DLR-Versuchsfahrzeug FASCar „spricht“ mit den Ampeln

Die ganze Stadt Braunschweig ist mit dem Projekt AIM zu einem Labor für Verkehrsforschung geworden. Für das langfristige Forschungsprojekt „Anwendungsplattform Intelligente Mobilität“ ist die Region auf Grund ihrer Größe sowie der Mischung von Straßen-, Schienen-, Stadt- und Landverkehr und der direkten Anbindung an das Autobahnnetz bestens geeignet. AIM dient der realitätsnahen Analyse neuer Verkehrs- und Fahrzeugtechniken.

Mit dem Aufbau von drei Kommunikationseinheiten geht das Projekt jetzt einen ersten Schritt in den realen Stadtverkehr. Via WLAN teilen die Ampeln dem DLR-Versuchsfahrzeug FASCar mit, wie lange sie noch grün oder rot bleiben. Mit diesen Werten und einer genauen Positionsinformation wird dann eine Geschwindigkeitsempfehlung ermittelt und dem Fahrer im Tacho angezeigt. Hält sich der Fahrer daran, gelangt er in einer „Grünen Welle“ durch den Stadtverkehr.

Mit AIM schafft das DLR, unterstützt vom Land Niedersachsen, von der Stadt Braunschweig und weiteren Partnern eine deutschlandweit einzigartige Großforschungsanlage. AIM kann dabei das komplette Spektrum der Verkehrsforschung abbilden: von der Erhebung empirischer Daten über Tests in Simulationen oder Laboren bis hin zur tatsächlichen Erprobung im realen Verkehr. So können die Wissenschaftler intensiv an verschiedenen Fragestellungen der Verkehrsforschung arbeiten, seien es die Entwicklung und Erprobung von Fahrerassistenz, modernes Verkehrsmanagement oder soziologische Verkehrsanalysen.

<http://s.DLR.de/x4i4>

DLR_School_Labs für Neustrelitz und Dresden

In Neustrelitz öffnete ein neues DLR-Schülerlabor. Das Team des DLR_School_Labs Neustrelitz hat dafür jugendgemäße Experimente entwickelt, die Kindern und Jugendlichen vor allem Forschungsprojekte aus dem DLR-Standort Neustrelitz näherbringen. So stehen Versuche zum Datenempfang, zu elektromagnetischen Wellen oder zur Satellitennavigation auf dem Plan. Außerdem wird der Frage nachgegangen, welche Auswirkungen die Verschmutzung der Erdatmosphäre auf das Sonnenlicht hat.

Es sind nicht nur Schulklassen eingeladen, das Angebot des DLR_School_Labs kostenfrei zu nutzen. Auch die Lehrkräfte sind aufgerufen, sich in Lehrer-Workshops über den aktuellen Stand der Forschung zu informieren.

Mit der Eröffnung des DLR_School_Labs in Neustrelitz gibt es derzeit deutschlandweit neun DLR-Schülerlabore. Das zehnte DLR_School_Lab entsteht in Dresden. Schülerinnen und Schüler werden dort ab Ende 2012 Fragen rund um die DLR-Schwerpunkte Energie und Verkehr nachgehen können. Das Dresdener Schülerlabor ist ein Gemeinschaftsprojekt der Technischen Universität (TU), der Stadt und des DLR. Standort des DLR_School_Labs TU Dresden sind die Technischen Sammlungen mitten in der sächsischen Landeshauptstadt. Fragen wie die nach der Funktionsweise von Brennstoffzellenautos der Zukunft oder nach dem Weg von Solarstrom in die heimische Steckdose werden dort in Experimenten auf anschauliche Weise bearbeitet.

www.DLR.de/schoollab



In Anwesenheit zahlreicher Gäste und einer zehnten Klasse vom Neustrelitzer Carolinum weihten Norwegens Botschafter Sven Erik Svedman, Landesminister Henry Tesch und DLR-Vorstandsvorsitzender Prof. Johann-Dietrich Wörner (v.l.n.r.) das DLR_School_Lab Neustrelitz zu Beginn dieses Schulhalbjahres offiziell ein

Simulation für Flugzeugrumpf und Flügel in ganz neuer Form



Für diesen Entwurf eines Flugzeugs der Zukunft führten DLR-Forscher in einer Computer-Simulation Rumpf und Kabinengestaltung zusammen

Wissenschaftler des DLR sind mit dem Flugzeug der Zukunft wieder einen Schritt weiter: Der Rumpf und die Kabinengestaltung wurden im Computermodell zusammengeführt. Der sogenannte Blended Wing Body vereint eine bessere Aerodynamik des Rumpfes und mehr Platz für Passagiere in einem Konzept.

Der Rumpf des Flugzeugs geht fließend in den Flügel über. Das verbessert vor allem den Auftrieb. Durch diese aerodynamische Form müssen die Triebwerke weniger leisten und das Flugzeug kann in einer leichteren Bauweise ausgelegt werden. So verbraucht es bis zu 20 Prozent weniger Treibstoff. Noch ist das Modell in der Entwicklungsphase. Die DLR-Wissenschaftler können am Computer jedoch schon testen, wie sich das Flugzeug unter realen Bedingungen verhalten würde. Als nächstes wollen die Forscher das Flugzeug weiter optimieren und die nötigen Systeme – wie Klimaanlage, Hydraulik und Landeklappen – integrieren.

<http://s.DLR.de/2720>

Alexander Gerst wird zur ISS fliegen

Der deutsche ESA-Astronaut Alexander Gerst soll im Mai 2014 zur Internationalen Raumstation ISS aufbrechen. Dort wird er auf einer Langzeitmission bis November 2014 bleiben. Beim Russischlernen kommt er schon recht gut voran, berichtet der studierte Geophysiker und begeisterte Vulkanologe im Interview auf den DLR-Internetseiten, in dem er auch Fragen zu seiner Bewerbung und Auswahl beantwortet.

Alexander Gerst ist nach Thomas Reiter der zweite deutsche ESA-Astronaut, der mehrere Monate auf der ISS arbeiten und leben wird. 2014 wird er die ISS-Expeditionen 40 und 41 an Bord eines russischen Soyuz-Raumschiffs als Flugingenieur begleiten. Gerst hat bereits mit seinem Missions-Training im Johnson Space Center der NASA in Houston (Texas) begonnen. Im September 2009 hatte er die Grundausbildung im Europäischen Astronautenzentrum (EAC) in Köln aufgenommen und war Ende 2010 offiziell zum Astronauten ernannt worden.



Alexander Gerst, geboren 1976, das Jahr, in dem Sigmund Jähn als erster Deutscher ins All flog

<http://s.DLR.de/ai1n>



Dr. Georg Dettleff (im Hintergrund) erläutert Besuchern die Göttinger Simulationsanlage für Treibstrahlen. Hier wird das Verhalten von Satellitenantrieben unter Weltraumbedingungen untersucht.

Hochbetrieb an der Wiege der Luftfahrtforschung

Mit mehr als 7.000 Besuchern erlebte der DLR-Standort Göttingen bei seinem Tag der offenen Tür am 18. September 2011 ein noch nie dagewesenes Interesse der Luftfahrtfans. Beim letzten Tag der offenen Tür waren 3.900 Gäste gezählt worden.

Die Göttinger Wissenschaftler präsentierten ihre Forschungen an Flugzeugen, Raumschiffen und Zügen unter dem Motto „An der Wiege der Luftfahrt“. Highlight war der ausgestellte Motorsegler Antares DLR-H2. Das Forschungsflugzeug ist der weltweit erste bemannte Flieger mit Brennstoffzellenantrieb. Durch diesen Antrieb sind Start, Flug und Landung vollständig CO₂-frei.

Einzigartig auch die Tunnelsimulationsanlage, ein Katapult für Hochgeschwindigkeits-Zugmodelle und der Hochenthalpiekanal zum Erforschen des Wiedereintritts von Raumfahrzeugen. Im Windkanal konnten die Besucher bei Orkanstärke ihre Windfestigkeit testen. Für Kinder gab es ein Programm mit Flugzeugbau und Spaceshuttle-Rutsche.

<http://s.DLR.de/c99k>

Sicherer Hubschrauberflug

Ein Hubschrauber mit einer sperrigen Außenlast muss im Flug immer stabil und kontrollierbar sein. Das soll in Zukunft mit einem neuen Pilotenassistenzsystem des DLR geregelt werden. Das System positioniert und stabilisiert die Lasten automatisch, damit der Pilot sich nicht mehr zusätzlich auf die Kontrolle der Last konzentrieren muss.

Eine Außenlast kann durch einen Windstoß oder eine falsche Steuerung leicht in Schwingungen geraten. Der Pilot kann die Last nicht sehen und muss sich auf die Angaben anderer verlassen, um entsprechend zu reagieren. Diesem Problem soll das Projekt HALAS (Hubschrauber Assistenz System) – das vom DLR gemeinsam mit der iMAR GmbH entwickelt wird – entgegenwirken. Es sorgt dafür, dass der Hubschrauber bei einer Schwingung der Pendelbewegung folgt und sich über die Last stellt, damit die Schwingung ausgeglichen werden kann.



Bei Flugversuchen mit dem DLR-Forschungshubschrauber (FHS) wurde unter anderem die an den FHS angebaute Rettungswinde überprüft

<http://s.DLR.de/499m>

Gute Rahmenbedingungen für Innovationen

Neue Ideen für Produkte, Dienstleistungen und Verfahren sind am Markt gefragter denn je. Das DLR baut seine Rolle als Technologiegeber und Entwicklungspartner der Wirtschaft aus. Dafür ging es im Jahr 2011 einen weiteren Schritt: Der DLR-Vorstand verabschiedete seine Innovationspolicy und ein verbindliches DLR-Rahmensystem für Innovationen.

Das Innovationssystem besteht aus Leitlinien zur Innovationskultur, Innovationszielen, einer Innovationsstrategie, dem Innovationsprozess sowie unterstützenden Methoden und Werkzeugen. Es stärkt das Bewusstsein für die aktive Überführung von Forschungsergebnissen in die industrielle Wertschöpfungskette und ermutigt alle Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, ihre Forschungsergebnisse zusammen mit der Industrie zu neuen Anwendungen am Wirtschaftsmarkt weiterzuentwickeln. Die Führungskräfte des DLR sorgen für die nötigen Rahmenbedingungen.

Das System schließt das Analysieren von Megatrends ebenso ein wie Ideenworkshops, Marktuntersuchungen, Unterstützung von Ausgründungen und ein DLR-weites „Portal für innovative Ideen“ zur Sammlung, Bewertung und Weiterentwicklung von Projektideen zu Innovationsprojekten. Zum Schließen der Wertschöpfungskette kooperiert das DLR verstärkt mit Industrieunternehmen, die validierte DLR-Technologien aufnehmen, sie zur Marktreife weiterentwickeln und erfolgreich in den Markt einführen.

Das Innovationssystem ist die Basis dafür, dass das hohe Innovationspotenzial des DLR verstärkt gehoben und damit der Nutzen von Forschung für Staat und Gesellschaft konkret demonstriert werden kann.

DLR-Astronomiebuch erschien im KOSMOS Verlag

Fragen rund um das Universum, zu Astronomie und Raumfahrt faszinieren viele Menschen. Doch die Antworten sind oft kompliziert und lang. Das DLR hat nun ein Buch herausgegeben, in dem zentrale Fragen zum Kosmos in 80 kurzen Beiträgen beantwortet werden: **Warum nimmt der Mond zu und ab? Mit 80 Fragen durch das Universum**, lautet der Titel. Das farbig illustrierte, handliche 168-Seiten-Büchlein erschien im KOSMOS Verlag und ist für € 14,95 im Buchhandel erhältlich.

Die Artikel sind je eine Doppelseite lang und es gibt zu jedem ein Bild. Die Texte sind allgemeinverständlich geschrieben und jeder Kosmos-Interessierte sollte darin einige spannende Erkenntnisse finden können. Die Sammlung beruht auf einer Online-Aktion anlässlich des Internationalen Jahres der Astronomie 2009. Die „Astronomische Frage der Woche“ hatte ein weites Echo, sowohl unter den Nutzern der DLR-Internetseiten als auch auf den Online-Seiten von Zeitungen und Zeitschriften gefunden.



Endlich zur richtigen Zeit am richtigen Ort

Kann die Existenz von Antimaterie und Dunkler Materie nachgewiesen werden? Und muss man dafür auf die ISS?

Ein Gespräch mit Stefan Schael
von Marco Trovatiello

Mit dem Alpha-Magnet-Spektrometer (AMS), einem auf der Internationalen Raumstation ISS montierten sieben Tonnen schweren und vier Meter hohen Teilchendetektor, versucht ein auf den ganzen Erdball verteiltes Wissenschaftlerteam der Lösung des Rätsels um unser Universum – und damit um unsere Existenz – ein Stück näher zu kommen. Im Fokus stehen dabei Fragen rund um die mögliche Existenz von Antimaterie und Dunkler Materie. Hinter AMS steht ein Experiment, dessen Erkenntnisse bahnbrechend sein könnten. Professor Stefan Schael, Experimentalphysiker und deutscher Projektleiter von AMS, beschreibt im Gespräch nicht nur Funktionsweise, Einsatz und mögliche zukünftige Erkenntnisse, sondern auch den langen Weg zu Start und Inbetriebnahme des Spektrometers.



Stefan Schael, deutscher Projektleiter des Alpha-Magnet-Spektrometer-Experiments

Herr Schael, könnten Sie zunächst in einfachen Worten das Funktionsprinzip des Alpha-Magnet-Spektrometers und das Ziel des Experiments beschreiben? Oft ist ja auch von einer Kamera für Dunkle Materie die Rede, doch um eine Kamera im eigentlichen Sinn geht es ja wohl nicht ...

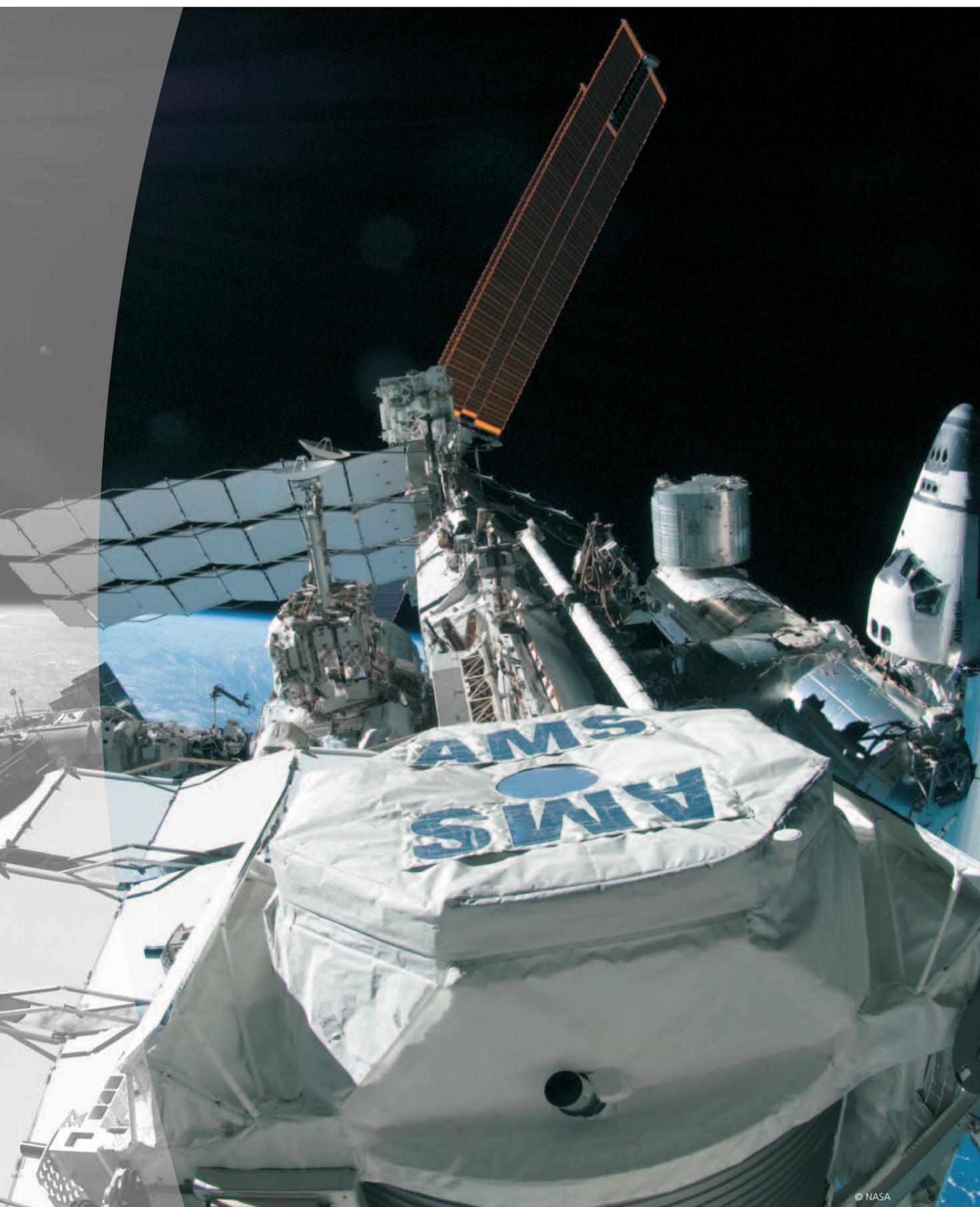
Allein zu dieser Frage könnte ich einen zweistündigen Vortrag halten. Ich beginne einmal mit ein paar grundsätzlichen Überlegungen, die zum AMS-Experiment geführt haben: Eines der Probleme in der Physik heutzutage ist, dass einige kosmologische Beobachtungen der jüngeren Zeit mit keiner Theorie verträglich sind. Das heißt, es gibt Dinge in unserer Natur beziehungsweise im Universum, die wir nicht verstehen. Eine grundlegende Frage der Physik lautet: Warum existieren wir überhaupt? Warum hat sich nach dem Urknall nicht genauso viel Materie wie Antimaterie gebildet? Warum besteht das Universum nicht nur aus Licht? Warum gibt es uns?

„Uns“ bedeutet hier Materie?

Ja, richtig. Es geht erstmal gar nicht um die Frage, warum es denkende Wesen wie uns im Universum gibt. Denn damit wir entstehen konnten, bedurfte es Materie. Doch wir verstehen nicht, warum es im Universum Materie gibt!

Eine zweite, grundlegende Feststellung lautet: Wir beobachten, dass unsere Sonne und mit ihr unsere Planeten auf einer stabilen Bahn um das Zentrum unserer Galaxie, der Milchstraße, kreisen. Wir können sogar die Geschwindigkeit messen, mit der das Sonnensystem diese Rotation ausführt. Wenn wir allerdings nachrechnen, ob die Gravitationskraft unserer Galaxie ausreicht, um unser Sonnensystem auf seiner Bahn zu halten, kommen wir zu dem Schluss, dass die Sonne eigentlich aus der Galaxie herausfliegen müsste. Würde Sie das tun, dann gäbe es auf der Erde kein Leben. Was wiederum die Frage aufwirft: Warum gibt es die Erde und andere Planeten?

AMS-02 nach Installation auf dem sogenannten Starboard Truss, einer Gitterstruktur der Internationalen Raumstation ISS. Rechts ist das ange-dockte Spaceshuttle Endeavour zu erkennen, das AMS-02 in den Erdborbit beförderte.

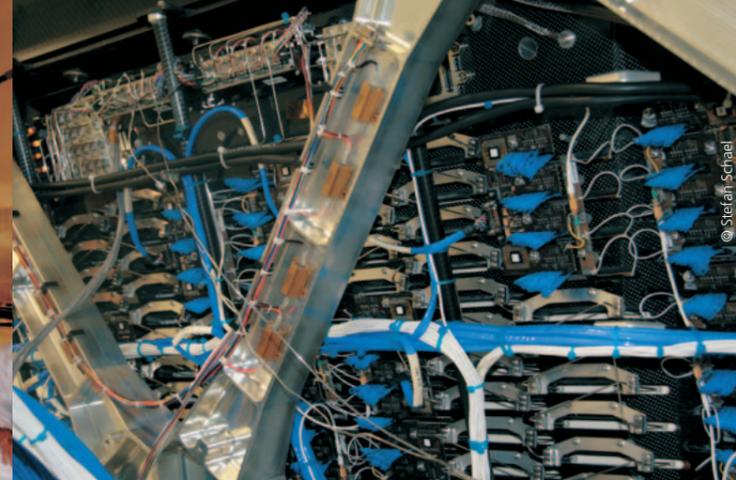




Die NASA-Astronauten und STS-134-Missionsspezialisten Greg Chamitoff (links) und Andrew Feustel (rechts) installieren AMS-02 auf der ISS-Außenstruktur



Samuel Ting (Mitte), Stephan Schael (fünfter von rechts) und weitere Mitglieder des AMS-02-Teams im Payload Changeout Room, in dem AMS-02 für den Start an Bord des Spaceshuttle Endeavour vorbereitet wurde



Detailaufnahme des in Deutschland gebauten Übergangsstrahlungsdetektors TRD (Transition Radiation Detector). Dem TRD kommt für die physikalische Untersuchung der Frage nach Dunkler Materie eine Schlüsselrolle zu.



Ein Teil des deutschen AMS-02 Teams im Reinraum des I. physikalischen Instituts RWTH Aachen. Im Hintergrund ist der Übergangsstrahlungsdetektor zu sehen.

Und nun hoffen Sie, diese Fragen mit Hilfe des AMS-Experiments klären zu können?

Genau. Wir haben ein physikalisches Modell, das dieses Phänomen erklären könnte. In diesem Modell spielt die sogenannte Dunkle Materie eine wichtige Rolle. Nach unserer Vermutung müsste das eine neue Art von Elementarteilchen sein, die wir aber bisher nicht nachgewiesen haben. Wenn wir sie finden würden, dann könnten wir verstehen, warum die Sonne in einer stabilen Bahn um das Zentrum der Galaxie kreist.

AMS soll also helfen, diese Dunkle Materie zu finden?

Ja, richtig. Lassen Sie mich aber kurz noch etwas zur Antimaterie und zu Ihrer Eingangsfrage sagen. Ein derzeit für möglich gehaltenes Modell geht davon aus, dass nach dem Urknall Antimaterie übrig blieb. Dann könnte es Galaxien aus Antimaterie geben, die genauso aussehen würden wie unsere Milchstraße. Es würden dort genauso die Sterne leuchten, die wir auch aus den uns bekannten Materie-Galaxien kennen und die ab und zu in einer Supernova, einer gewaltigen kurzen Explosion, vergehen. Dabei würden Antimaterie-Teilchen auf hohe Energien beschleunigt und – schließlich ist das Universum ja ein perfektes Vakuum – bis zu uns gelangen, durch unser Spektrometer fliegen und wir könnten sie beobachten. Würden wir diese Teilchen also finden, dann wüssten wir, dass das Universum aus genauso viel Materie wie Antimaterie besteht und hätten dieses Rätsel gelöst.

Wieso müssen die Teilchen im All oder besser gesagt auf der Internationalen Raumstation ISS in 350 Kilometer Höhe über der Erde gemessen werden? Versucht man der Frage nach der Antimaterie nicht schon seit längerem mit Hilfe von Teilchenbeschleunigern, beispielsweise im CERN, der Europäischen Organisation für Kernforschung, auf die Spur zu kommen?

Ja. Tatsächlich suchen wir bereits seit 50 Jahren nach dieser Asymmetrie zwischen Antimaterie und Materie, finden sie aber nicht in ausreichendem Maße in den Experimenten, die wir auf der Erde machen. AMS ist insofern eines der Pionierexperimente, da es die Messempfindlichkeit um mehr als das Tausendfache steigern wird. Und das ist nur im Weltall möglich ...

Warum?

Wir wollen geladene Teilchen messen, und das ist auf der Erde nicht möglich, denn hier kann man nur neutrale Teilchen wie beispielsweise die Photonen, also Lichtteilchen, messen. Das hat damit zu tun, dass Erdatmosphäre und Erdmagnetfeld uns vor diesen für den Menschen schädlichen geladenen Teilchen,

die Bestandteil der kosmischen Strahlung sind, schützen – sonst würde es kein Leben auf der Erde geben. Wir müssen also in den Weltraum, auf die Raumstation.

Kommen wir noch einmal auf die Antimaterie zurück: Glauben Sie, diese nachweisen zu können?

Wenn wir keine Antimaterie finden, können wir mit guter Wahrscheinlichkeit davon ausgehen, dass es im gesamten Universum keine gibt. Unter uns gesagt: Nicht nur ich wäre sehr überrascht, wenn wir tatsächlich Antimaterie finden würden. Als Wissenschaftler sollte man mit solchen Aussagen allerdings vorsichtig sein. Ein Experiment mit dieser Sensitivität hat noch niemand gemacht.

So oder so wird dann doch die Erkenntnis, die Sie zum Missionsende von AMS ziehen werden, bahnbrechend sein. Finden Sie keine Antimaterie, so müssen die Physik-Lehrbücher umgeschrieben werden...

Nicht wirklich umgeschrieben, allerdings versuchen wir seit mehr als 30 Jahren die dem Standardmodell der Teilchenphysik zugrunde liegenden, unvollständigen Theorien zu erweitern. Es gelingt uns aber nicht, anhand dieser Theorien die Rätsel des Universums und die Frage unserer Existenz zu erklären. Völlig klar ist allerdings, dass wir momentan mit theoretischen Überlegungen nicht weiterkommen, sondern neue Experimente und neue Beobachtungen brauchen ...

... und neue Daten von Experimenten wie AMS?

Ja, wir brauchen neue experimentelle Daten. Das ist genau das, was wir als Experimentalphysiker tun können: Messinstrumente entwickeln und bauen, die eine viel höhere Messgenauigkeit besitzen als all das, was vorher da war – und dann hoffen, dass wir die nächsten Geheimnisse lüften oder zumindest der nächste Schritt dazu in Reichweite dieser Experimente liegt.

Wie funktioniert dieses hochsensible Spektrometer?

Zunächst einmal: AMS arbeitet hervorragend, genauso wie wir es uns überlegt hatten. Die Messergebnisse, die wir bekommen, sind enorm präzise, noch viel besser als erwartet. Das konnten wir mit dieser Genauigkeit auf der Erde mit Teilchenbeschleunigern vorher nicht überprüfen. Ich finde das fantastisch. Wir sind bei 100 Prozent, es hat alles funktioniert. Eine enorme technische und ingenieurwissenschaftliche Leistung! – Allerdings befinden wir uns auch in einem Dilemma: Die Daten, die wir aufzeichnen, sind so genau, dass es der Qualität unserer bisherigen Arbeit nicht gerecht werden würde, sie vorzeitig, etwa mit einer noch nicht genauestens geprüften Kalibration zu ver-

öffentlichen. Wir müssen also unser Instrument erst noch genauer verstehen, als ursprünglich erwartet. Hier liegt jetzt noch sehr viel Arbeit im Detail vor uns.

Haben Sie schon etwas von Bedeutung finden können?

Bevor man mit irgendwelchen Sensationen kommt, muss man erstmal zeigen, dass das Messinstrument – wir sagen, die Brot- und Butter-Physik – funktioniert. Und dabei sind wir auf einem guten Weg, sodass wir erste Veröffentlichungen für 2012/13 erwarten können. Ich kann Ihnen heute nicht sagen, ob wir dann Dunkle Materie oder Antimaterie oder etwas völlig anderes gefunden haben werden. Aber ich kann Ihnen sagen, dass uns ausgezeichnete Messergebnisse vorliegen werden. Die Erwartung, dass wir zu 1.000- bis 10.000-mal besseren Messergebnissen kommen als mit Vorgänger-Experimenten, werden wir wohl erfüllen können. Momentan sind wir allerdings ganz und gar damit befasst, Betrieb und Funktion von AMS sicherzustellen. Hier haben wir uns gerade mit dem DLR-Raumfahrtmanagement auf die Finanzierung für die nächsten drei Jahre einigen können. An dieser Stelle muss ich einmal sagen, dass die DLR-Kollegen hier einen tollen Job gemacht haben. AMS war und ist kein einfaches Projekt – es gab wirklich schwierige Entscheidungen zu treffen und bisher lag das DLR mit seinen Einschätzungen richtig. Wir hatten so optimale Bedingungen, um so ein tolles Instrument zu bauen und sind jetzt hervorragend aufgestellt, um damit auf internationalem Niveau exzellente Forschung zu betreiben.

Sprechen wir über die Missionsdauer. Ist es richtig, dass Ihnen elf Jahre am liebsten wären? So könnten Sie über einen kompletten solaren Zyklus messen.

Eine schwierige Frage. Wir haben uns natürlich gefragt, wie lange AMS überhaupt messen kann – die aktuelle Prognose lautet: etwa 20 Jahre. Die Raumfahrtagenturen der anderen beteiligten Länder haben zugesagt, die ISS mindestens bis zum Jahr 2020 zu betreiben und es gibt die Absichtserklärung, die ISS eventuell sogar bis 2028 im Orbit zu lassen. Wir würden zum einen aufgrund des solaren Zyklus sicher gerne länger als elf Jahre messen. Zum anderen messen wir in einer völlig unbekanntem Umgebung. Die Beschleunigungsmechanismen, die dafür sorgen, dass Teilchen zu uns kommen, kontrollieren wir nicht. Wir messen alles, was es im Universum gibt, und es gibt einige seltene Ereignisse, die dazu führen können, dass wir etwas völlig Neues finden. Zum Beispiel eine Supernova in unserer Milchstraße – so etwas lässt sich nicht vorhersagen. Aber wenn so etwas passiert, wäre es wirklich bedauerlich, wenn dieses einzigartige Messinstrument gerade dann nicht mehr da wäre. Meine Meinung dazu ist: Wir täten gut daran, AMS so lange wie möglich in Betrieb zu lassen, denn im Vergleich zu den Bau- und Installationskosten sind die Betriebskosten gering. Wenn

alles planmäßig läuft, haben wir nach zehn bis zwölf Jahren Daten, die unter dem Aspekt des statistischen Mittels von ausgezeichneter Präzision sein werden.

Nochmal der Blick auf die Technik: Was war die besondere Herausforderung beim Bau des Messinstruments AMS?

Diese hatte in der Hauptsache mit dem Magnetfeld zu tun, das benötigt wird. AMS ist ein Detektor, der geladene Teilchen nachweisen kann und er muss in den Weltraum – soweit die Anforderung. Zur Beantwortung der Frage, ob die Teilchen positiv oder negativ geladen sind, brauchen wir einen Magneten, der die Teilchen entsprechend auf eine positiv oder negativ gekrümmte Kreisbahn ablenkt. Wenn dieser Magnet nun mit dem Spaceshuttle oder der ISS im erdnahen Orbit fliegt, dann wechselwirkt sein Magnetfeld mit dem Erdmagnetfeld. Folglich muss man sich mit dem Design des Magneten sehr große Mühe geben, ansonsten sind die Wechselwirkungen dieser Kräfte so groß, dass man die Lagekontrolle verliert und die ISS ins Trudeln gerät. Und hier haben NASA und DLR natürlich erst einmal gesagt: Zeigt uns, dass das funktioniert. Das haben wir mit AMS-01, dem Vorläuferexperiment, das 1998 zehn Tage an Bord des Spaceshuttle Discovery ins Weltall flog, getan – und dabei nicht nur gezeigt, dass wir ein Instrument beziehungsweise einen Magneten gebaut haben, dessen Wechselwirkung mit dem Erdmagnetfeld sich nicht auf die Steuerung des Shuttles oder der Raumstation auswirkt, sondern auch noch so robust und mechanisch so stabil ist, dass es einen Shuttlestart und die Montage an der ISS übersteht und anschließend mit hoher Präzision misst.

Warum bezeichnet man AMS denn auch als Kamera für Dunkle Materie?

Weil es sich um einen Halbleiterdetektor handelt, im Grunde genauso, wie man ihn in einem digitalen Fotoapparat findet. Und was wir eigentlich machen, sind Fotografien von geladenen Teilchen, die durch unser Messinstrument fliegen.

Der Vergleich ist also gar nicht so abwegig?

Nein, er ist sogar ziemlich gut. Nur dass wir bis zu 6.000 Bilder pro Sekunde machen und dies eben von der kosmischen Höhenstrahlung. Diese messen wir mit 300.000 einzelnen Kanälen.

Sprechen wir ein wenig über den Anteil Deutschlands an AMS. An der RWTH Aachen befassen Sie sich ja nicht nur mit der Wissenschaft, sondern wie schon angesprochen auch mit Entwicklung und Bau entsprechender Instrumente wie beispielsweise AMS.

Ja, richtig, das macht gut 50 Prozent meiner Arbeit als Lehrstuhlinhaber für Experimentalphysik aus. Wenn wir auf diesem Gebiet etwas Neues entdecken wollen, brauchen wir ein neues, noch präziseres Messinstrument. Das zu entwerfen und zu bauen, ist die erste Aufgabe. Schauen Sie Hubble an. Man baut ein Teleskop, bringt es in den Weltraum und misst außerhalb der Erdatmosphäre die tollsten Sachen. Und das neue Instrument, das wir für diese Aufgabe brauchen, kann uns auch sonst niemand bauen, wir müssen das selber nach unseren speziellen Anforderungen tun. So etwas gibt es nicht von der Stange.

Welche Komponenten von AMS wurden in Deutschland entwickelt und gebaut?

In Deutschland wurde an zwei Standorten entwickelt, an der RWTH Aachen und am Karlsruher Institut für Technologie (KIT).

Bei AMS-01 hatten wir bereits zwei wichtige Komponenten an Bord, das Laser-Alignment-System und den Antikoinzidenzzähler – beides wichtige Bestandteile des Spurendetektors, der die eintreffenden Teilchen analysiert. Bei AMS-02 haben wir dann zusätzlich zu diesen Komponenten noch den Übergangsstrahlungsdetektor TRD, kurz für Transition Radiation Detector, gebaut. Der sitzt sozusagen oben auf AMS drauf und wiegt etwa 500 Kilogramm. Diesen Detektor haben wir komplett selber gebaut. Hier zu hat das KIT das Datenerfassungssystem beigetragen.

Resümierend kann man sagen, dass wir es in Deutschland mit vergleichsweise geringen finanziellen Ressourcen hinkommen haben, einen eigenständigen Detektor in diesem Messinstrument zu haben – eine enorme Leistung im internationalen Vergleich, für die mein Vorgänger, Klaus Lübelmeyer, und das DLR die Grundlagen gelegt haben. Damit spielen wir heute eine führende Rolle in diesem Projekt, denn es hat sich herausgestellt, dass unser Transition Radiation Detector für die physikalische Untersuchung der Frage nach der Natur der Dunklen Materie eines der Schlüsselinstrumente ist. So etwas kann man auch in der Wissenschaft nicht vollständig planen, dazu gehört auch Glück. Wir haben offenbar das große Glück – in unserem Fall zur richtigen Zeit am richtigen Ort das passende Instrument zu haben.

Lassen Sie uns noch über die Geschichte des Projekts reden. Nach dem Start am 16. Mai 2011 ging alles ganz schnell. Bereits nach zwei Stunden wurde AMS erstmals in der Shuttle-Ladebucht eingeschaltet, am 19. Mai war es auf der ISS installiert und begann mit der Datenaufzeichnung, die, wie Sie bereits sagten, hervorragend funktioniert. Der Weg dorthin war allerdings sehr langwierig ...

Das stimmt. Samuel Ting, Nobelpreisträger und sozusagen der Vater von AMS, trat 1996 an Daniel Goldin, den damaligen NASA-Chef, heran und überzeugte ihn von der Notwendigkeit, auf der ISS Grundlagenforschung zu betreiben. Goldin verstand das sofort, die Raumfahrtagenturen anderer Länder, darunter das DLR, schlossen sich an und heute ist AMS auf der Raumstation – mit Abstand das größte und sichtbarste Experiment zur Grundlagenforschung auf der ISS. Es liefert aus meiner Sicht einen Teil der Legitimation dafür, solch eine Struktur dort oben aufzubauen. Grundlagenforschung, das hat auch ein anderer Nobelpreisträger, Steven Weinberg, gesagt, das sind Erkenntnisse, die die Welt verändern können. AMS hat das Potenzial, mit seinen Erkenntnissen die Welt zu verändern.

In Deutschland ist das Projekt von Professor Lübelmeyer 1996 auf den Weg gebracht worden und wird von mir seit 2000 geleitet. Das DLR hat dann in seiner Funktion als Raumfahrtagentur der Bundesregierung die Mittel für AMS-01 bereitgestellt. Das war ebenfalls 1996, und zwei Jahre später flog AMS-01 dann als Technologiedemonstrator zehn Tage an Bord des Space Shuttle. 1999 sagte das DLR dann die Mittel für AMS-02 zu und der Starttermin war für 2003 vorgesehen. Es kam dann

aber alles ganz anders, denn wir hatten ja für viele Jahre keinen Shuttle-Start. 2005, nachdem sich die Probleme rund um das Space Shuttle-Programm der NASA bereits verschärft hatten, wurde uns schließlich mitgeteilt, dass es für AMS keine Fluglegenheit mehr gäbe ...

... das war der Tiefpunkt des Projekts, Sie hatten Jahre Arbeit investiert ...

... mehr als fünf Jahre, das Instrument war fertig. Hinzu kam, dass auch die Raumfahrtagenturen anderer beteiligter Länder entschieden, die Unterstützung für das Projekt zu reduzieren. Samuel Ting und führende europäische Politiker waren es dann, die die amerikanische Regierung davon überzeugten, die NASA-Entscheidung rückgängig zu machen. Und auch das DLR entschied im Namen der deutschen Bundesregierung positiv und ermöglichte es uns, weiterzumachen. Dabei haben sich Staatssekretär Hintze und Herr Wörner persönlich stark engagiert.

Haben Sie auch einmal darüber nachgedacht, AMS als eigenständigen Satelliten mit einer europäischen Ariane-Schwerlasttrakete ins All zu bringen?

AMS hat hohe Anforderungen bezüglich Stromversorgung und Kommunikation, das heißt bezüglich Daten-Down- und -Up-link. Was nicht heißen soll, dass man nicht eine entsprechend aufwändige Plattform hätte konstruieren können, um AMS als frei fliegenden Satelliten zu betreiben. Doch warum sollte man das tun, wenn man mit der ISS bereits die Infrastruktur für solch ein aufwändiges Projekt hat? Aus meiner Sicht ist die ISS die ideale Plattform, um Experimente wie AMS im Weltraum durchzuführen.

Zurück zum langen Weg von AMS ins All ...

Nun, es dauerte letztlich bis 2009, bis die Mission STS-134 zur ISS für August 2010 genehmigt wurde und damit der Mitflug von AMS zur ISS stattfinden konnte.

Kurz vor dem geplanten Start haben Sie AMS noch einmal umgebaut, warum?

Ursprünglich sollte AMS nur drei Jahre auf der Raumstation betrieben und dann wieder zur Erde gebracht werden. Durch die Einstellung des Shuttle-Programms wurde das natürlich unwahrscheinlich, sodass wir Magnet und Detektorkomponenten an eine nun längere Missionsdauer anpassen wollten, um die wissenschaftliche Ausbeute zu optimieren.

Die Ergebnisse des AMS-Experiments sollen der Allgemeinheit zur Verfügung stehen. Wie genau geschieht das?

Wenn wir forschen, um zu verstehen, wie das Universum entstanden ist, dann glaube ich schon, dass viele Leute wissen möchten, was für neue Erkenntnisse wir gewonnen haben – nicht die technischen Details, aber sicher die Ergebnisse und welche Auswirkungen diese für den Einzelnen haben.

Welche Auswirkungen sind das?

Zunächst einmal ist die Erkenntnis ein Wert an sich, denn sie bedeutet letztlich intellektuelle Freiheit. Man muss sich nicht zwischen Glauben A, B oder C entscheiden, sondern die Wissenschaft sagt, im besten Fall, zum Beispiel wie das Universum entstanden ist. Das gibt einer Gesellschaft Freiheit, sie ist weniger leicht zu manipulieren. Genauso wie es der Gesellschaft Freiheit gegeben hat, zu verstehen, dass die Erde sich um die Sonne dreht und nicht umgekehrt. Wir sind nicht die Krönung der Schöpfung, die Erde nicht der Mittelpunkt des Universums. Ergebnisse wie diese sind die Grundlage einer offenen und freien Gesellschaft und verändern damit unser aller Leben.



Space Shuttle Endeavour mit geöffneter Ladebucht. Inliegend: das Spektrometer AMS-02.

© NASA

Mittelfristig führen die Erkenntnisse der Grundlagenforschung in der Physik zu neuen Technologien. Denken Sie 100 Jahre zurück an die Quantenmechanik, aus der sich dann Halbleiter, Transistoren, Laser, Solarzellen, Computer, Internet, Smartphones etc. entwickelten.

Auch ein Plädoyer für die Wissenschaftskommunikation?

Wenn Sie so wollen, ja. Teil meines Berufs ist es auch, den aktuellen Wissensstand zu kommunizieren. Das mache ich in allgemeinverständlichen Vorträgen und Artikeln. Wenn wir spannende neue Ergebnisse haben, dann sehe ich es auch als meine Aufgabe an, geeignete Formen zu finden, die interessierte Öffentlichkeit zu informieren. Grundlage dafür sind jedoch immer Publikationen mit allen technischen Details in anerkannten internationalen Fachmagazinen.

Herr Schael, haben Sie vielen Dank für dieses Gespräch. ●

Zur Person:

Prof. Dr. Stefan Schael, geboren 1961 in Leverkusen, ist Leiter des I. Physikalischen Instituts B der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule (RWTH) Aachen. Er studierte Physik in Bonn und Heidelberg, promovierte an der Universität Karlsruhe und habilitierte an der Ludwig-Maximilians-Universität München. Nach einem Forschungsaufenthalt am CERN, der Europäischen Organisation für Kernforschung, und seiner Tätigkeit als Wissenschaftlicher Angestellter am Max-Planck-Institut für Physik in München wechselte er Anfang 2000 schließlich an die RWTH. Sein Forschungsinteresse gilt der Teilchen- und Astroteilchenphysik. Neben dem AMS-Experiment ist er an verschiedenen anderen internationalen Forschungsprojekten wie CMS, einem Detektor des Teilchenbeschleunigers Large Hadron Collider (LHC) des CERN, beteiligt. Schael ist verheiratet und hat zwei Kinder.

Weitere Informationen:

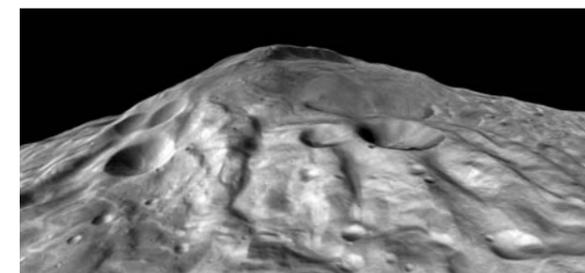
www.DLR.de/ams
www.ams02.org
<http://s.DLR.de/c5w3>

Bilder einer neuen, alten Welt

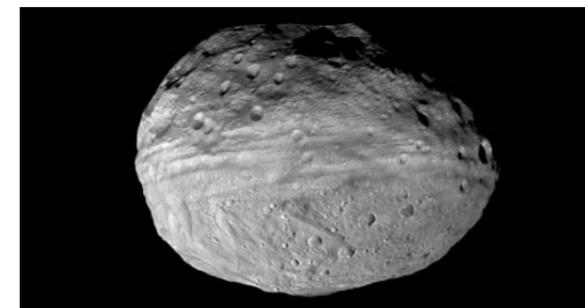
Auch Planetenforscher können sich einer gewissen Sensationslust nicht entziehen. Eine solche war im Frühsommer 2011 latent spürbar, als sich die NASA-Raumsonde Dawn ihrem ersten Ziel, dem Asteroiden Vesta näherte. Den an dieser Mission beteiligten Wissenschaftlern im DLR-Institut für Planetenforschung in Berlin-Adlershof stand bei den fast täglich stattfindenden, oft Stunden dauernden Zusammenkünften und transatlantischen Telefonkonferenzen unübersehbar eine angespannte Neugierde ins Gesicht geschrieben: Wie wird „sie“ wohl aussehen, die 500 Kilometer große Vesta, diese Zeugin aus der Frühzeit des Sonnensystems, wenn die Raumsonde im Mai und Juni erste Aufnahmen zur Erde funken wird? Und was wird erst auf den Bildern zu sehen sein, wenn Dawn sich in einer Umlaufbahn um Vesta befindet?

Die Raumsonde Dawn am Asteroiden Vesta

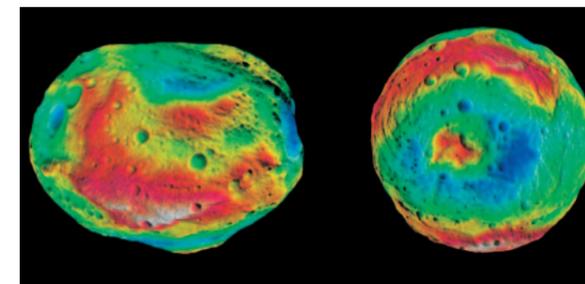
Von Ulrich Köhler und Prof. Ralf Jaumann



Inmitten von Vestas großem Südpolkrater erhebt sich auf einer Fläche etwa der Größe Sachsens ein über 15 Kilometer hoher Berg



Entlang des Äquators umgibt den Asteroiden ein System aus Hunderten von Kilometer langen Furchen und Bergrücken, deren Ursprung noch unbekannt ist



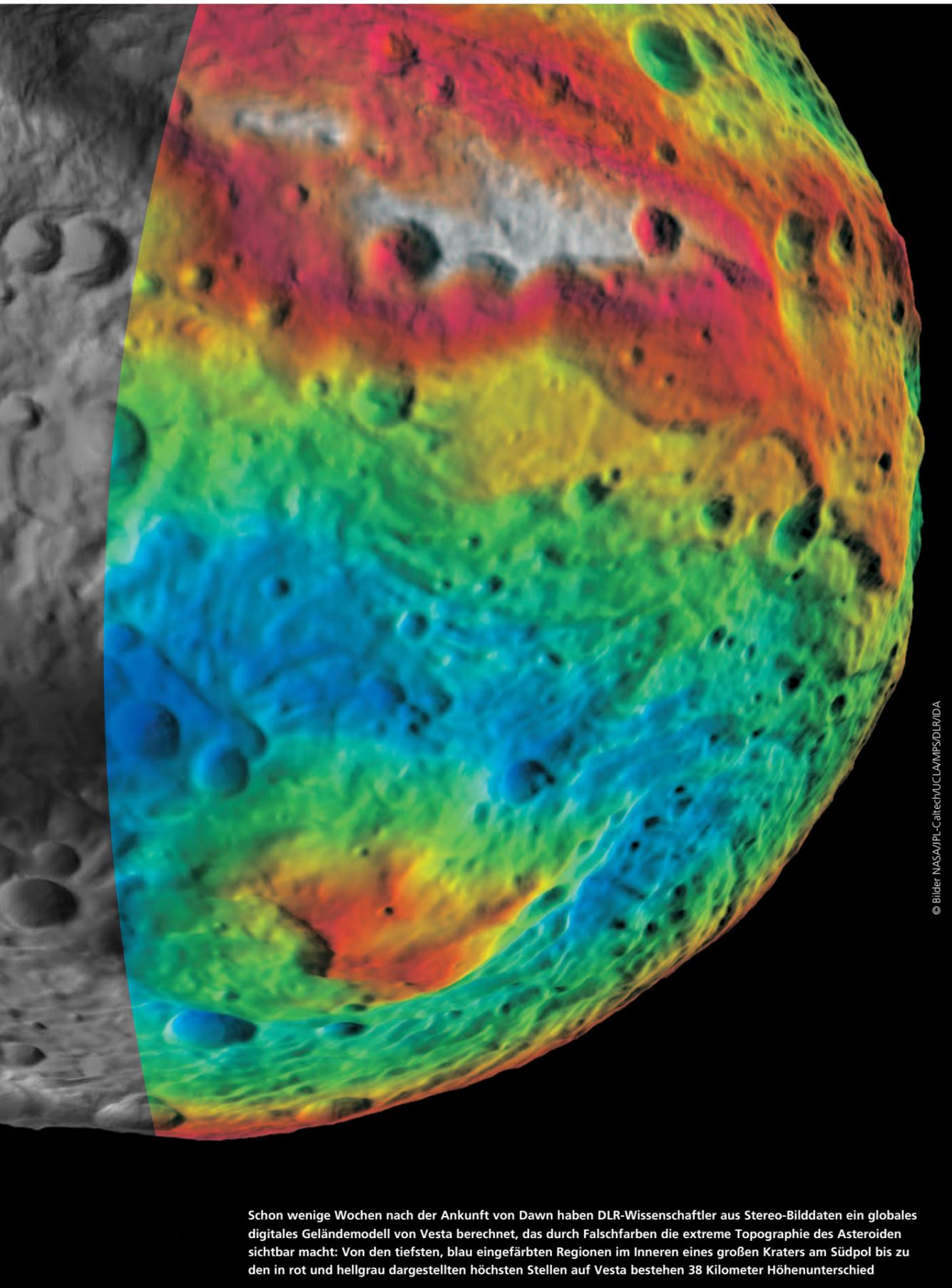
Vesta ist ein nur nahezu kugelförmiger Körper und hat daher eine entsprechend dramatische Topographie. Links ein Blick auf die Äquatorregion; vom Nordpol (oben) kann jahreszeitlich bedingt noch keine Topographie modelliert werden, da er im Schatten liegt. Rechts ein Blick auf den Südpol, der ein gewaltiges Einschlagsbecken von fast 500 Kilometern Durchmesser offenbart.

Bei der Annäherung an Vesta wich die Anspannung einem großen Staunen, das bald in helle Begeisterung umschlug. Bereits die Aufnahmen aus der Ferne übertrafen die Erwartungen der Forscher, und als Dawn ab dem 16. Juli 2011 Bilder aus einer Umlaufbahn um Vesta zur Erde funkte, kannte der Enthusiasmus im Wissenschaftsteam kaum noch Grenzen. Der drittgrößte Körper im Asteroidengürtel zwischen Mars und Jupiter hielt eine Menge Überraschungen für die Wissenschaftler bereit: Entlang des Äquators umspannt ein System von Furchen und Bergrücken den Asteroiden, auf das man sich noch kaum einen Reim machen kann. Der Südpol wird von einem mehrere Hundert Kilometer großen Einschlagsbecken dominiert, das auf den Impakt eines anderen riesigen Asteroiden zurückgeführt wird, der den Himmelskörper beinahe zerstört hätte. Die Ränder dieses Riesenskraters weisen Abhänge von mehreren Kilometern Höhe auf. Im Zentrum der Ringstruktur befindet sich ein mehr als 15 Kilometer hoher Berg. Wie er entstanden ist, bleibt vorerst unklar. Vereinzelt finden sich in der Umgebung von kleinen Einschlagskratern schwarze Ablagerungen: Ob unter der von unzähligen Einschlägen fein zermahlene oberste Gesteinsschicht von Vesta, dem Regolith, Reste eines frühen Vulkanismus' verborgen sind, bleibt herauszufinden.

Die Raumsonde umkreiste den Planetoiden zunächst in einer Höhe von etwa 2.700 Kilometern. Dawn hat ein deutsches Kamerasystem an Bord, das – gefördert vom DLR-Raumfahrt-Management – unter Leitung des Max-Planck-Instituts für Sonnensystemforschung in Katlenburg-Lindau in Zusammenarbeit mit dem DLR-Institut für Planetenforschung und dem Institut für Datentechnik und Kommunikationsnetze in Braunschweig entwickelt und gebaut wurde. Aus den Stereo-Bilddaten dieser „Framing Camera“ errechneten die DLR-Forscher in nur wenigen Wochen ein erstes globales 3D-Modell von Vesta, bestimmten die Orientierung der Rotationsachse und erstellten einen Atlas des Asteroiden, der nun als Grundlage für die Erforschung von Vesta dient – und im Missionsverlauf ständig verbessert wird: Betrug die Bildauflösung beim anfänglichen Kartier-Orbit noch 260 Meter pro Bildpunkt, werden dann aus einer niedrigeren Umlaufbahn von 680 Kilometern Höhe Bilder von bis zu 70 Metern Auflösung aufgenommen. Schließlich werden in einer dritten Orbitalphase Anfang 2012 aus nur noch 180 Kilometer Höhe Fotos mit weniger als 15 Meter Bodenaufklärung gelingen.

Mitte 2012 wird Dawn von Vesta Abschied nehmen: Ihre Reise geht dann weiter zum Zwergplaneten Ceres, den die Sonde mit ihrem Ionenantrieb im Februar 2015 erreichen wird. Langweilig wird es den Forschern in dieser Zeit nicht: Schließlich wollen Gigabytes an Daten ausgewertet werden, mit dem Ziel, ein besseres Verständnis von der viereinhalb Milliarden Jahre zurückliegenden Zeit der „Morgendämmerung“ (Dawn) des Sonnensystems zu erhalten. ●

Weitere Informationen:
www.DLR.de/PF



Schon wenige Wochen nach der Ankunft von Dawn haben DLR-Wissenschaftler aus Stereo-Bilddaten ein globales digitales Geländemodell von Vesta berechnet, das durch Falschfarben die extreme Topographie des Asteroiden sichtbar macht: Von den tiefsten, blau eingefärbten Regionen im Inneren eines großen Kraters am Südpol bis zu den in rot und hellgrau dargestellten höchsten Stellen auf Vesta bestehen 38 Kilometer Höhenunterschied

© Bilder NASA/JPL-Caltech/UC/LAMOST/DLR/IDA



Eiskalte Röhre für heißes Plasma

Die amerikanische Raumsonde Deep Space 1 flog von 1998 bis 2001 mit elektrischem Ionen-Antrieb bis zum Asteroiden Braille und dem Kometen 19P/Borrelly. Als der Kommunikationssatellit Artemis der Europäischen Weltraumorganisation ESA nach dem Start 2001 seine Erdumkreisung nicht in der geplanten Höhe begann, beförderten Ionentriebwerke den Tiefflieger auf seine korrekte Höhe. Mehr als 320 Millionen Kilometer legte die amerikanische Raumsonde Dawn zurück, bis sie im Juli 2011 den Asteroiden Vesta erreichte – das Raumschiff flog dabei mit der stetigen Schubkraft eines Ionen-Antriebs durch das Weltall. Die elektrischen Satellitenantriebe werden zunehmend für Missionen eingesetzt. Bei Tests auf dem Boden haben sie allerdings einen entscheidenden Nachteil: Um zu funktionieren, benötigt ein elektrischer Raketenantrieb Vakuum wie jenseits der Atmosphäre. In der neuen Simulationsanlage des DLR in Göttingen schaffen die Forscher deshalb ähnliche Bedingungen wie im Weltraum.

Neue Simulationsanlage in Göttingen testet Ionenantriebe für die Raumfahrt

Von Manuela Braun

Die riesige Röhre im Institut für Aerodynamik und Strömungstechnik ist imposant. „Dort wird während eines Tests das Triebwerk montiert.“ Andreas Neumann, verantwortlich für die neue Simulationsanlage, zeigt mit dem Finger auf einen noch imaginären Ort, an dem später ein elektrisches Triebwerk zünden soll. Seine Stimme hallt in der spiegelblanken Metallröhre. Mit 12,2 Meter Länge, fünf Meter Durchmesser und einem Volumen von 236 Kubikmetern ist die neue Vakuumkammer die größte ihrer Art in Deutschland. Die Großanlage ist ein Schwergewicht: Allein die leere Kammer wiegt 25 Tonnen, der mächtige Deckel, der die Kammer während der Testläufe verschließen wird, bringt immerhin 4,5 Tonnen auf die Waage. Nicht nur das Vakuum in der Kammer simuliert den Weltraum: „Im Weltraum ist viel freier Platz um das Raumfahrzeug und den Raketenantrieb herum, und das ahmen wir durch einen möglichst großen Abstand der Wände zum Antrieb nach.“ Das große Volumen der Anlage ermöglicht es den Forschern, Wirkungen von außen auf das Triebwerk gering zu halten.

Ionen-Antrieb

Es gibt mehrere Wege, elektrische Triebwerke zu realisieren. Ihr Prinzip ist ähnlich: Ein Treibgas (beispielsweise Xenon) wird ionisiert, das heißt die Elektronen werden von den Gasatomen abgetrennt.

Die geladenen Atome lassen sich dann durch elektrische oder magnetische Felder beschleunigen. Im einfachsten Fall ist am Ende des Triebwerks ein Gitter, an dem eine negative Spannung anliegt. Die positiv geladenen Ionen werden dadurch beschleunigt und verlassen mit hoher Geschwindigkeit das Triebwerk. Dadurch entsteht der Schub.

So groß die Anlage ist, so empfindlich soll sie aber auch sein, wenn sie ihre Arbeit aufnimmt. Elektrische Antriebe verleihen ihren Satelliten Schub, indem sie geladenes Plasma ausstoßen. Doch während chemische Antriebe, bei denen zwei Komponenten bei der Zündung miteinander reagieren, über einen kurzen Zeitraum enormen Schub produzieren, ist der Schub eines elektrischen Antriebs sehr gering, aber extrem lang anhaltend – er entspricht in etwa dem Gewicht einer Cent-Münze. Um ihn zu messen, muss die Schubwaage so sensibel sein, dass sie selbst das Gewicht einzelner Daunenfedern anzeigen könnte. Empfindliche Messinstrumente benötigen aber eine möglichst störungsfreie Umgebung, um präzise arbeiten zu können. Für die Wissenschaftler des DLR eine anspruchsvolle, schwierige Aufgabe. „Wir haben da jede Menge Tricks eingebaut“, erläutert Neumann und der Stolz ist seiner Stimme anzumerken.

Tricks verhindern ungewollte Schwingungen

Einer der Tricks: Die Halle, in der die Simulationsanlage steht, hat ihr Fundament ein Stockwerk unterhalb des Straßenniveaus. Die Schwingungen, die Fahrzeuge auf der oberhalb liegenden Straße vor der Halle auslösen, können die Anlage und ihre Messinstrumente daher nicht mehr beeinflussen. Damit sich Veränderungen am Material der Vakuumkammer selbst beispielsweise durch Druck nicht auf die Messungen auswirken können, ruht der Körper der Testanlage zum Teil beweglich auf Betonblöcken. Auch die Halterung, an der das Triebwerk befestigt wird, steht auf einem Betonblock, der nicht mit der restlichen Anlage verbunden ist – die Schwingungen der Kammer sollen sich nicht auf das Triebwerk und die damit verbundene Schubwaage übertragen. Jeder Bestandteil der riesigen Vakuumkammer soll möglichst unbeeinflusst arbeiten, wenn die Tests mit einem elektrischen Raketenantrieb laufen.

„Wir wollen ganz genau wissen: Wie viel Schub liefert der Raketenantrieb?“ Wie eine empfindliche Laborwaage soll die Spezialwaage auch noch den kleinsten Schub registrieren. Schubwaagen wie die der Göttinger Anlage können selbst über viele Kilometer Entfernung noch ein Erdbeben registrieren. Selbst Kabel, die an dem Messinstrument befestigt werden müssen, werden zu einem Problem, wenn die Forscher sie nicht mit Bedacht an der Waage einbauen. Alles muss ganz exakt geplant werden. Entscheidend ist auch die Richtung, in die der Schub verläuft. „Das ist bei Triebwerken keine triviale Sache“, betont Neumann. Diese Schubvektormessung soll bei den Tests darüber Aufschluss geben, wie sich das Triebwerk bei seinem späteren Flug im Weltraum verhalten würde. Dafür sollen zwei ringförmige Sensor-Systeme in der Kammer um das laufende Ionen-Triebwerk rotieren und den Plasma-Strahl analysieren.

So können die Wissenschaftler auch untersuchen, ob der geladene heiße Abgasstrahl das restliche Raumschiff beeinträchtigt. „Wie genau sieht der Abgasstrahl aus? Welche Ausdehnung hat er? Würde sich der Strahl des Triebwerks während eines tatsächlichen Fluges zum Beispiel auf die Solarpaneele auswirken?“ Das sind einige der Fragen, die der DLR-Wissenschaftler nennt und die mit den Tests in der neuen Simulationsanlage beantwortet werden sollen. Ein defektes Sonnenpaneel, das durch den Triebwerksausstoß beschädigt würde, könnte die gesamte Mission gefährden. Was man hingegen auf der Erde im Test entdeckt, kann vor dem Flug ins Weltall noch korrigiert werden. Die Messtechniken, die so genaue Analysen liefern können, werden zurzeit passgenau für die Arbeit mit der Simulationsanlage entwickelt.

Ein Jahr – oder sogar auch länger – soll der elektrische Antrieb dann in der Simulationsanlage laufen und den Wissenschaftlern Daten liefern. Damit kommt man der eigentlichen Betriebsdauer der Antriebe im Weltraumeinsatz sehr nahe: Bis zu 15.000 Stunden arbeitet ein Ionen-Antrieb während einer Mission. „Unser Team würde dann über diese Zeit hinweg die Anlage betreuen, überwachen und die Daten messen und aufbereiten.“ Erfahrung bringen die DLR-Wissenschaftler bereits von der Simulationsanlage für chemische Antriebe mit, die seit 30 Jahren in Göttingen betrieben wird. Vieles, beispielsweise die Vakuumtechnik, Modellrechnungen oder auch der Betrieb einer solchen Großanlage, können auf die Arbeit mit Plasma-Antrieben übertragen werden – „die Besonderheiten der elektrischen Antriebe müssen noch exakt erarbeitet werden“.

Kältewand zum Festfrieren

Ein kompliziertes Pumpsystem sorgt während eines Testlaufs in der Kammer dafür, dass dort – ähnlich wie im Weltraum – nur noch ein extrem geringer Druck herrscht. Heliumpumpen saugen währenddessen auch noch die kleinsten Reste von Gas auf. „Sobald das Triebwerk läuft und dabei Gas produziert, müssen die Pumpen richtig schufteln, um weiterhin das Vakuum auf-

rechtzuerhalten“, erläutert Neumann. „Klimmzüge“ nennt der Anlagenleiter die Arbeit, die dann auf das Pumpsystem zukommt. Zudem wird die Vakuumkammer in Teilen auf bis zu minus 260 Grad Celsius gekühlt. Die Partikel des Restgases in der Kammer und auch des heißen Plasma-Strahls frieren an den kalten Wänden der Simulationsanlage regelrecht fest, sodass sie dort nicht abprallen und zurück auf das Triebwerk und dessen Umgebung geworfen werden. Dabei ist die eigentliche Rückwand noch durch eine speziell geformte, grafitbeschichtete und austauschbare Wand geschützt. „Die Ionen des Strahls sind sehr schnell und schlagen Material aus Gegenständen heraus, auf die sie treffen“, erläutert Andreas Neumann die Vorsichtsmaßnahme.

Auch wenn es bereits in Europa oder den USA ähnliche Anlagen gibt – „unsere Anlage erreicht eine einzigartige Vakuumqualität und somit Bedingungen, die dem Weltraum sehr nahekommen“, sagt Dr. Klaus Hannemann, Leiter der Abteilung Raumfahrzeuge im DLR Göttingen. Mit der bereits bestehenden Simulationsanlage für chemische Antriebe und der neu gebauten Anlage für Ionen-Antriebe decken die Göttinger Wissenschaftler nun einen großen Bereich von Satellitenantrieben ab. Die neue Anlage ist dabei zum einen auf konkret anstehende Aufgaben ausgerichtet, aber auch schon für die Zukunft vorbereitet. „Zum einen haben wir bei der Industrie nachgefragt, wo es bisher bei den Tests von Ionen-Antrieben Lücken gibt, wo der Bedarf liegt“, erklärt Hannemann. „Zum anderen ist die Kammer so konstruiert, dass in ihr ganz verschiedene elektrische Antriebe getestet werden können – auch Typen, die zurzeit noch in der Entwicklung sind.“

Mit Plasma-Kraft unterwegs

Die nächsten Missionen, die mit elektrischen Antrieben durchs Weltall fliegen werden, sind schon geplant: Die Europäische Weltraumorganisation ESA will beispielsweise einen kleinen geostationären Kommunikationssatelliten, Small Geo, mit Ionen-Antrieb betreiben. Die europäisch-japanische Raumsonde Bepi-Colombo zum Merkur wird unter anderem einen elektrischen Antrieb an Bord haben. „Ionen-Antriebe haben zwar einen geringen Schub, sie nutzen den Treibstoff jedoch sehr effizient, und wenn sie über einen langen Zeitraum hinweg betrieben werden, können sie Raumschiffe auf sehr hohe Geschwindigkeiten beschleunigen“, erklärt Abteilungsleiter Klaus Hannemann. „Deshalb eignen sie sich sehr gut für interplanetare Missionen. Ein weiterer Schwerpunkt ihrer Anwendung liegt auf Satelliten in der geostationären Umlaufbahn. Diese müssen aufgrund von Störungen ihrer Bahn, die durch Sonne und Monde hervorgerufen werden, laufend Korrekturmaßnahmen durchführen – Ionen-Antriebe können hierbei durch ihre Effizienz die Lebensdauer des Satelliten wesentlich verlängern.“ Er ist sich sicher: Es sei abzusehen, dass der Bedarf an Ionen-Triebwerken zunehmen werde. „Hierbei geht es nicht um die Frage, ob elektrische Antriebe chemische Triebwerke ersetzen werden, sondern vielmehr darum, wie deren individuelle Vorteile effektiv genutzt werden können – auch in Kombination auf einem Satelliten. Die Entwicklung hat Potenzial für die Zukunft.“

In der Vakuumkammer der neuen Simulationsanlage wird zunächst ein Testtriebwerk zum Einsatz kommen. Im kommenden Jahr sollen es dann die Triebwerke sein, die nach ihrem Test tatsächlich ins Weltall starten – und zuvor in Göttingen zum ersten Mal unter Weltraumbedingungen gelaufen sein werden. ●

Weitere Informationen
www.DLR.de/AS



Bevor die Wissenschaftler ein Vakuum fast wie im Weltraum erzeugen können, muss die Anlage verschlossen und auf ihren Einsatz vorbereitet werden



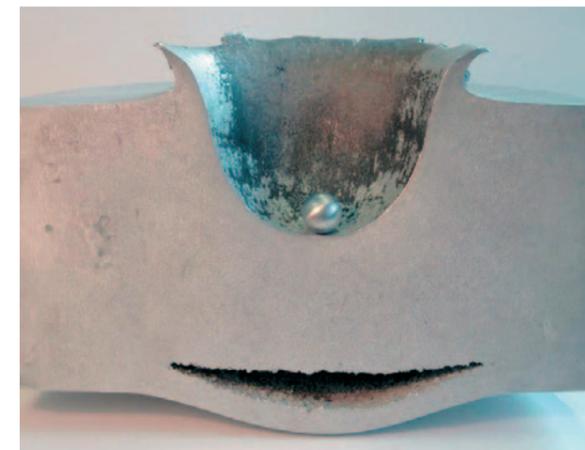
Andreas Neumann ist für die neue Simulationsanlage für elektrische Antriebe in Göttingen verantwortlich und plant mit seinem Team die ersten Testläufe mit Ionen-Antrieben

Alarm im All

Immer mehr Weltraumschrott-Teile sind auf Kollisionskurs. DLR-Forscher arbeiten an deren Erfassung, um vor Zusammenstößen warnen zu können.

Von Wolfgang Riede und Uwe Völker

Im niedrigen Erdorbit wird es eng: Neben Erdbeobachtungs- und Kommunikationssatelliten fliegen nicht nur die Internationale Raumstation ISS, sondern auch eine größer werdende Anzahl von Weltraumschrott-Objekten. Diese stellen eine zunehmende Gefahr für die Satelliten und insbesondere auch für Astronauten dar. Im Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt arbeiten Forscher aus den Instituten für Technische Physik sowie für Hochfrequenztechnik und Radarsysteme daran, diese gefährlichen Objekte zu erfassen und deren Bahn zu bestimmen. Das Ziel: drohende Kollisionen rechtzeitig erkennen und durch effiziente Ausweichmanöver vermeiden.



Deutliche Zeichen der Zerstörung zeigt diese massive Aluminium-Platte, nachdem eine kleine Aluminiumkugel mit einer Geschwindigkeit von sieben Kilometer pro Sekunde auf ihr eingeschlagen ist

Schrott-Teile im niedrigen Erdorbit legen pro Sekunde eine Strecke von etwa acht Kilometern zurück. Wegen dieser hohen Geschwindigkeit und der damit verbundenen hohen kinetischen Energie muss davon ausgegangen werden, dass Einschläge von Objekten ab einer Größe von einem Zentimeter die Funktion eines Satelliten stark beeinträchtigen oder gar beenden. Bei Einschlägen von Objekten ab einer Größe von zehn Zentimetern spricht man von „katastrophalen“ Ereignissen. Denn es ist eine vollständige Zerstörung zu erwarten. Ein solches Ereignis ist letztmals am 10. Februar 2009 eingetreten, als der aktive Kommunikationssatellit Iridium 33 mit dem inaktiven Satelliten Cosmos 2251 kollidierte. Die Gesamtmasse des Schrotts erhöhte sich schlagartig um 1,6 Tonnen und die Anzahl der katalogisierten Objekte stieg in Bruchteilen von Sekunden um 20 Prozent.

Informationen über die Bahnen der Schrott-Objekte sind weltweit noch unzureichend verfügbar. Das vom US-Verteidigungsministerium betriebene „Space Surveillance Network“ überwacht circa 1.000 aktive Satelliten und ermittelt drohende Kollisionen mit 22.000 katalogisierten Objekten. Dies entspricht allerdings nur etwa drei Prozent der vermuteten Objektanzahl mit einer Größe von einem Zentimeter oder mehr.

Wie auch die Besatzung der ISS immer wieder erleben muss, ist ein umfassender Katalog mit Weltraumschrott-Orbits für den Schutz der Infrastruktur im Weltraum von lebenswichtiger Bedeutung. Ein Beispiel: Ende Juni 2011 mussten die Astronauten der ISS die Sojus-Rettungskapsel aufsuchen, weil sich Welt-

Die Grafik links veranschaulicht: Die Zahl der Weltraumschrott-Objekte im erdnahen Orbit nimmt zu. Damit wächst die Kollisionsgefahr.

raumschrott näherte und die Vorwarnzeit nicht mehr genügte, um auszuweichen. Die Teile flogen schließlich in einem Abstand von nur 250 Metern an der Raumstation vorbei.

Insbesondere bei Außeneinsätzen an der ISS besteht für die Astronauten eine große Gefahr. Bill Cooke, der Chef jener NASA-Abteilung, die Gefahren durch Meteoriten abschätzt, kalkuliert das Risiko, dass innerhalb der nächsten zehn Jahre ein Astronaut während eines Außenboreinsatzes von einem Schrott-Teil getroffen wird, auf immerhin 1 zu 12.

Ortung mit Lasern

Kleine und kleinste Objekte in der Erdumlaufbahn zu erfassen, tut also Not. Optische Methoden bieten die Möglichkeit, Weltraumschrott-Teile mit großer Genauigkeit zu erfassen, und das zeitlich effektiv: Die zur Bahnbestimmung notwendigen Daten werden innerhalb nur eines Überflugs ermittelt, sie liegen also innerhalb weniger Minuten vor. Dazu wurde am DLR-Institut für Technische Physik ein Konzept entwickelt, nach dem sowohl ein umfangreicher Weltraumschrott-Katalog aufgebaut als auch aktuell gehalten werden kann. Die Erfassung „neuer“ Objekte erfolgt dabei passiv-optisch. Das heißt, gleicht man die Erdrotation durch Nachführen der Teleskope aus, erscheinen natürliche Himmelsobjekte wie Sterne oder Planeten punktförmig, während Weltraumschrottobjekte durch reflektiertes Sonnenlicht eine Leuchtspur hinterlassen.

Um zusätzlich zu den bei der Detektion des Weltraumschrotts gefundenen ersten groben Koordinaten weitere Informationen über die Position des Objekts zu gewinnen, wird dieses mit einem Puls laser angestrahlt. Die reflektierten Photonen werden mit einem Teleskop aufgefangen und sowohl zum Fein-Tracking als auch zur Abstandsmessung verwendet. Die angestrebte Genauigkeit liegt dabei für 1.000 Kilometer entfernte Objekte in allen Dimensionen im Meter-Bereich. Diese Methode ist prinzipiell sogar auch am Tage anwendbar.

Die Lasersysteme müssen hohen Anforderungen an deren Strahlqualität und Energiestabilität genügen und werden derzeit im Institut für Technische Physik entwickelt. Parallel dazu wird ein Technologiedemonstrator aufgebaut, mit dem die Bahnen von Weltraumschrott-Objekten durch Bahnverfolgung und Entfernungsmessung (Tracking und Ranging) bestimmt werden soll.

Radarbasierte Erfassung

Zur Detektion und Bahnbestimmung von Teilchen mit Bahnhöhen von bis zu 1.000 Kilometern können neben den optischen Methoden auch Radar-Sensoren genutzt werden. Diese haben den großen Vorteil, dass sie unabhängig von der Tageszeit und nahezu unabhängig von den Witterungsbedingungen operieren können. Hierbei werden Mikrowellen abgestrahlt und die von den Flugobjekten reflektierten Echos gemessen. Dies geschieht in einem Frequenzbereich, der von Wolken und Niederschlag nur gering beeinflusst wird. Erste Überlegungen zur Nutzung eines Radar-Systems für eine operationelle Weltraumbeobachtung erfolgen derzeit im DLR-Institut für Hochfrequenztechnik und Radarsysteme. Insbesondere soll der minimal detektierbare Objektdurchmesser reduziert werden, angestrebt sind ein bis fünf Zentimeter. Zudem wollen die DLR-Wissenschaftler die Genauigkeit der Bahnbestimmung steigern und den Bereich der Himmels-sphäre, der beobachtet wird, deutlich vergrößern.

Dazu wollen die Forscher ein innovatives Mehrkanal-Radar-System mit digitaler Strahlformung einsetzen. Dabei werden auch operationell anwendbare Methoden wie die simultane Nutzung mehrerer Antennen zum Betrieb eines bi- bzw. multistatischen Modes entwickelt.

Laserbasierte und radarbasierte Systeme, so die Vision, könnten im operationellen Betrieb zu einem Netzwerk kombiniert werden, um so einen genauen Katalog der Bahndaten von Weltraumschrott-Teilen aufbauen zu können. ●

Autoren:

Dipl.-Phys. ETH Wolfgang Riede leitet im DLR-Institut für Technische Physik in Stuttgart die Abteilung Aktive Optische Systeme. Dr. rer. nat. Uwe Völker entwickelt die entsprechenden Konzepte zur laserbasierten Erfassung von Weltraumschrott und erstellt Gefährdungsanalysen.

Weitere Informationen:

www.DLR.de/TP
www.DLR.de/HR



30-Meter-Radar-Antenne in Weilheim für S-, X- und C-Band-Anwendungen



Lasersystem für astronomische Beobachtungen
© ESO

„In the lifetime of the International Space Station, up to 2020, there's a 1-in-12 chance we will lose an astronaut on an extravehicular activity because of micrometeoroids or space junk.“

Bill Cooke, Chief of the Meteoroid Environment Office at NASA's Marshall Space Flight Center



Astronaut John Glenn besteigt sein Raumschiff.
Die erste amerikanische bemannte Raumfahrtmission beginnt.

© NASA

Der erste Verfolger

Endlich ein Astronaut: John Glenns Start ins All jährt sich zum 50. Mal

Von Rolf Michael Simon

Himmel, ist das wirklich bald 50 Jahre her ... – ein halbes Jahrhundert?
Muss wohl, der Stempel auf dem Briefumschlag besagt: 20. Februar 1962.

20. Februar 1962, da begann auch für uns Pennäler eine neue Zeitrechnung. Der erste Amerikaner umkreiste in einem Raumschiff die Erde. Das war zwar winzig, aber immerhin. John Glenn hieß der Mann, der zum Helden avancieren sollte. Wir drückten noch die rheinländischen (Vorkriegs-)Schulbänke unserer Penne und hofften auf Versetzung in die Untersekunda zu Ostern. Als Sextaner, wie die Fünftklässler auf dem Gymnasium sich nannten, hatten wir Sputnik 1 miterlebt und waren tief enttäuscht, dass wir den nicht sehen konnten. Doch vom Weltraum-Virus waren wir schon infiziert, rettungslos. In den Monaten und Jahren danach verfolgten wir gebannt die stürmische Entwicklung der Raumfahrt, die Aufholjagd des Westens, sprich der Amerikaner, gegen die Sowjets. Wie wir ein paar Jahre zuvor die Fußballweltmeister-Elf von 1954 hatten aufsagen können, kannten wir jetzt die Namen der „Mercury Seven“ auswendig und waren ziemlich sauer, dass Gagarin und Titow ihnen zuvorgekommen waren. Die US-Boys Shepard und Grissom hatten ja wirklich nur am Weltall „gekratzt“.

Und – wir waren seit Neuestem Fans von John F. Kennedy, dem jungen(-haften) Mann im Weißen Haus, dem wir zutrauten, aus der Aufholjagd einen richtigen Wettlauf zu machen. Man bedenke – im Bonner Bundeskanzleramt residierte Konrad Adenauer, Jahrgang 1876... Und im Kreml der alte Polterer Nikita C. Da war JFK doch ein ganz anderes Kaliber. Und John Glenn war für uns das Raumfahrt-Pendant zu diesem US-Präsidenten. Kein Wunder, er war ja nur vier Jahre jünger als Kennedy. Vor ein paar Monaten nun feierte Glenn seinen 90. (!) Geburtstag.

Dieser John Glenn sollte nun als erster Ami die Erde umkreisen. Wir waren hin und weg, unsere Begeisterung ließ uns gar nicht an die Gefahren eines solchen Fluges denken, der ja – man verzeihe das Wortspiel – ein echtes „Himmelfahrtskommando“ war. Friendship 7 hieß Glenns Raumkapsel, schöner Name. Diese Mercury-Raumschiffchen hatten ja alle die „7“ im Namen, obwohl schließlich nur sechs fliegen sollten.

Wir fieberten dem Starttag entgegen, der auch noch mehrfach verschoben wurde, und waren rundum happy, als alles gut gegangen, John Glenn gewässert und aus dem Meer gezogen worden war. Fast fünf Stunden hatte der Flug gedauert, der den früheren Jet-Piloten zum Helden der westlichen Welt machte. In der Rückschau mag es erstaunen, dass es da noch keine Verschwörungstheorien gab, wie sie nach den Mondlandungen von Armstrong, Aldrin und den anderen Apollo-Fliegern ins Kraut schossen. Anno 62 war John Glenn drei Mal im Weltraum um unsere Erde gerast, basta!

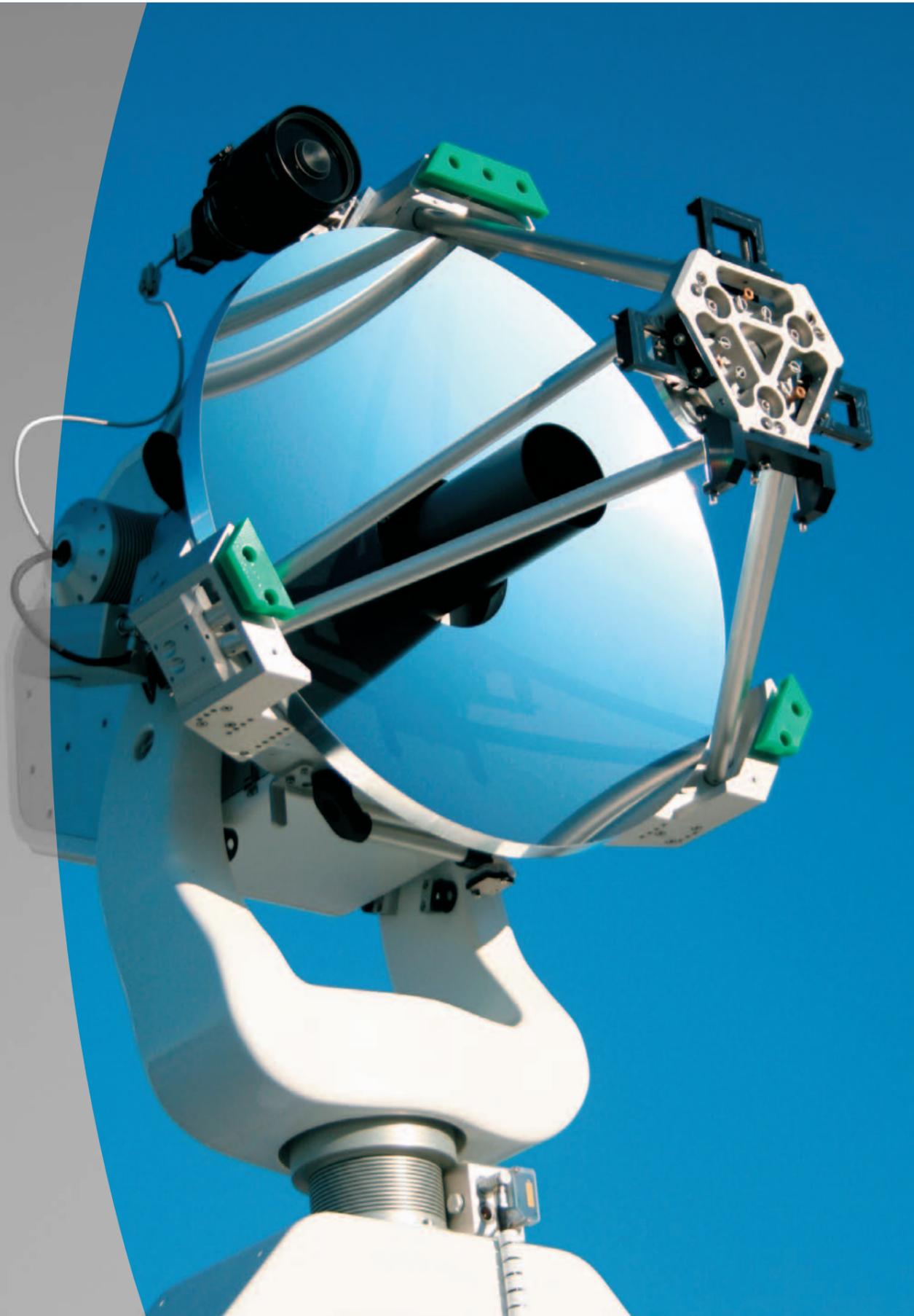
In den frühen Sixties gab es in unserer Heimatstadt Essen ein Amerika-Haus. Das wurde zwar 1964 wieder geschlossen (pikanterweise kurz nachdem seine Adresse in Kennedyplatz umbenannt worden war), aber zu Glenns historischer Mission gab's hier eine große Raumfahrt-Ausstellung. Die war ausgesprochen gut, höchst informativ und die richtige Portion visionär dazu. Und aus dieser Schau im Amerika-Haus stammt der abgebildete Umschlag mit dem Poststempel vom 20. Februar 1962. Der mich in den folgenden Raumfahrt-Jahren begleitete – durch die Gemini- und Apollo-Ära, durch die fast schon vergessene Zeit zwischen 1975 und 1981, als es jahrelang keine bemannte Raumfahrt in den USA gab, bis die Shuttles kamen.

In einem der Shuttles flog John Glenn 1998 ein zweites Mal in den Weltraum. Nein, damit schloss sich kein Kreis. Dann wäre ja Schluss gewesen ... ●



Rolf Michael Simon, Journalist, bis 2010
Ressortleiter Wissenschaft und Forschung
der Neuen Ruhr/Neuen Rhein Zeitung (NRZ)





Laserkommunikation hebt ab

Es ist eine Technologie mit großem Potenzial: die schnelle Datenübertragung mittels Laserkommunikation von fliegenden Plattformen zu datenhungrigen Bodenstationen. Um den Datentransfer zwischen Bodenstationen, Flugzeugen, Satelliten und anderen fliegenden Plattformen zu verbessern, forscht das Oberpfaffenhofener DLR-Institut für Kommunikation und Navigation auf dem Gebiet der optischen Freiraumkommunikation. Die Technologie kann, verglichen mit nicht-optischen Verfahren wie Radio- oder Mikrowellenverbindungen, die Übertragungskapazitäten um Größenordnungen steigern. Das bedeutet einen hundert- bis tausendfach schnelleren Datentransfer!

Im DLR Oberpfaffenhofen erkunden Experten den Einsatz optischer Datenübertragung zwischen Luft und Boden

Von Florian Moll und Christian Fuchs

Das Prinzip ist einfach: Wie bei den terrestrischen Glasfasernetzen werden die physikalischen Eigenschaften von Licht zur Datenübertragung verwendet.

Der Unterschied ist lediglich das Übertragungsmedium: Anstatt die Lichtwellen durch Glasfaserkabel zu schicken, werden sie durch den freien Raum gesendet.

Will man mehr Information pro Zeiteinheit transportieren als es beispielsweise mit Radiowellen möglich ist, wird Licht als elektromagnetische Strahlung mit höherer Frequenz zum Hoffnungsschimmer am Horizont. Jüngste Experimente Oberpfaffenhofener DLR-Wissenschaftler zeigen, dass die optische Kommunikation zur Datenübertragung vom Flugzeug zum Boden genutzt werden kann, etwa um HDTV-Videos oder hochauflösende Radardaten in Echtzeit zur Verfügung zu stellen. Hohe Energie-Effizienz, kompakte Bauweise, keine Kosten für Funklizenzen und zudem äußerst hohe Datenraten – das könnte die Datenübertragungssysteme von Morgen auszeichnen. Die Anwendung von Laserkommunikation in der Luft- und Raumfahrt ist seit mehreren Jahrzehnten Gegenstand der Forschung. Indem Intensität und Phase des Laserlichts moduliert werden und dieses durch den freien Raum gesendet wird, lassen sich orts-feste oder mobile Punkt-zu-Punkt-Verbindungen aufbauen. So können Daten zwischen Kommunikationsknoten auf Gebäuden, Flugzeugen, Satelliten oder anderen Partnern ausgetauscht werden.

Erste Studien auf dem Gebiet der optischen Inter-Satelliten-Verbindungen führte das DLR bereits in den 70er-Jahren durch. Ende 2008 konnte erstmals gezeigt werden, dass optische Kommunikation auch im aeronautischen Bereich zwischen Flugzeug und Boden realisiert werden kann. Vom DLR-Institut für Kommunikation und Navigation wurden dafür bis dato weltweit einzigartige Experimente durchgeführt, um die Anforderungen an zuverlässige Verbindungen in diesem Szenario zu definieren. Dabei konnte eine Kommunikationsverbindung zwischen dem DLR Forschungsflugzeug Do 228-212 und der opti-

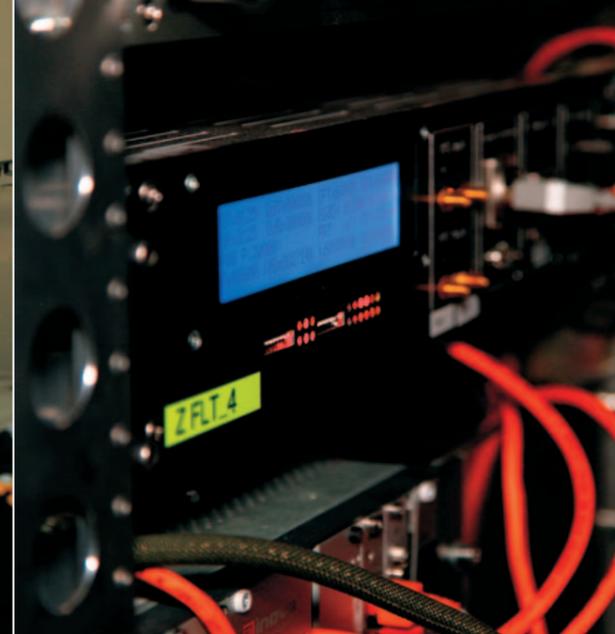
Teleskop und Montierung der transportablen Bodenstation TOGS



Das DLR-Forschungsflugzeug Do 228-212 beim Testbetrieb des Experimentaleinbaus zur optischen Kommunikation. Der Außenbau des Laserterminals befindet sich links unten am Rumpf.



Außenbau der Sendeeinheit. Der Sendestrahl tritt aus der Linse aus und kann in den gesamten unteren Halbraum gelenkt werden.



Laser Ethernet Transceiver (LET) im Inneneinbau. Hier werden die Nutzdaten (z. B. Kamerabilder, Radaraufnahmen) in ein für die Freistrahübertragung optimiertes Sendedatenformat gewandelt.



Optische Bodenstation Oberpfaffenhofen. Hinter dem Teleskop ist eine optische Bank angeflanscht, welche den Kommunikationsempfänger und die Messgeräte beherbergt.

schen Bodenstation auf dem Dach des Institutsgebäudes im DLR Oberpfaffenhofen aufgebaut und aus der Luft aufgenommene HDTV-Daten via Laserkommunikation in Echtzeit bereitgestellt werden.

Zusammenspiel von Luft- und Bodenseite

Das Gesamtsystem besteht prinzipiell aus zwei Hauptkomponenten: Der im Flugzeug eingebauten Laserquelle (Kommunikationssender) und des Empfangsteleskops am Boden (Kommunikationsempfänger). Die Laserquelle setzt sich aus einem Außenbau und einem im Flugzeuginneren angebrachten Sendebauteil zusammen. Der Außenbau ist im unteren Bereich des Flugzeugrumpfs befestigt. Geschützt durch einen halbkugelförmigen Präzisionsglasdom befindet sich dort zentriert eine 30 Millimeter große Sammellinse, welche über ein spezielles aktives optisches System, angetrieben von geregelten Torquemotoren (das sind getriebelose Direktantriebe) in jede Richtung durch eine fixe Durchführung im Flugzeugrumpf zu lenken. Dort, innerhalb der Kabine, lagern sowohl die vibrationsgedämpfte optische Bank, als auch die Elektronik, welche zur Steuerung der gezielten Strahlrichtung und Umwandlung von Nutzdatenformaten (wie etwa Radarbilder oder HDTV-Videos) in Sendeformate benötigt wird. Hier wird das aus Computernetzwerken und Internetverbindungen bekannte Kommunikationsprotokoll TCP/IP verwendet. Um den Besonderheiten des turbulenten atmosphärischen Übertragungskanal Rechnung zu tragen, gibt es ein spezielles Fehlersicherungsverfahren. Dieses sorgt dafür, dass Signaleinbrüche aufgrund atmosphärischer Einflüsse, welche zu Datenverlust führen, kompensiert werden können und somit eine fehlerfreie Datenübertragung möglich wird.

Das Flugterminal kennt die GPS-Position der Empfangsstation, so dass der Sender entsprechend ausgerichtet werden kann. Des Weiteren übermittelt es mithilfe einer traditionellen UHF-Funkverbindung seine eigene GPS-Position an die Boden-

station. Somit kann eine gegenseitige automatische Ausrichtung von Sender und Empfänger im Rahmen der Genauigkeit des GPS-Systems erreicht werden. Da zur Ausrichtung der Kommunikationspartner eine extrem hohe Genauigkeit von weniger als einem Hundertstel Grad notwendig ist, wird eine zweite Stufe eingesetzt. Es werden optische Sensoren auf beiden Seiten verwendet. Diese detektieren ein vom Partner ausgestrahltes Referenzsignal und können dessen einfallende Richtung auf wenige Tausendstel Grad genau bestimmen. Eine geschlossene Regelschleife sorgt dafür, dass die gegenseitige Ausrichtung bestehen bleibt, egal welches Manöver das Flugzeug durchführt. Mit dieser Technik konnten bis dato hochratige Verbindungen bei Distanzen bis über 100 Kilometer aufgebaut und gehalten werden. Datenraten von mehr als einem Gigabit pro Sekunde (Gbit/s) sollen als nächstes demonstriert werden. Zukünftige Systeme werden sogar bis in den Bereich von Terabit (eine Billion bit) pro Sekunde vorstoßen.

Die Empfangsstation am Boden hat ein optisches Spiegelteleskop mit einem 40-Zentimeter-Primärspiegeldurchmesser (Cassegrain-Typ), welches durch eine Kuppel geschützt ist. Das Teleskop ist in einer eigens entwickelten Gabelmontierung aus Aluminium befestigt und kann mittels zweier Freiheitsgrade (Azimuth und Elevation) alle Blickrichtungen über dem Horizont anpeilen. Das vom Flugzeug kommende Laserlicht wird vom Spiegelteleskop eingefangen und auf verschiedene Messinstrumente sowie den Kommunikationsempfänger gelenkt. Dort wird das optische Signal in ein elektrisches umgewandelt und demoduliert beziehungsweise dekodiert. Aus dem Sendeformat werden die Nutzdaten wieder extrahiert und den Nutzern zur Verfügung gestellt. Beispielsweise kann ein vom Flugzeug aus aufgenommenes HDTV-Video nun angesehen, gespeichert oder weiterverarbeitet werden.

In Zukunft sollen Flugzeuge und unbemannte Flugkörper mit der neuen Technologie ausgerüstet werden, um über lange Distanzen große Datenmengen zu übertragen, wie sie zum Beispiel bei Verkehrsüberwachung, luftgestütztem Katastrophenschutz und anderen Aufklärungsaufgaben anfallen. Auf diese Art und Weise können die jeweiligen Einsatzkräfte stets mit aktuellem und höchstauflösendem Bildmaterial versorgt werden.

Vom Luftraum ins Weltall

Auch der Bereich Daten-Downlinks von Satelliten stellt eine sehr interessante Anwendung für optische Kommunikationsverbindungen dar. Die möglichen Datenraten im Gbit/s-Bereich übertreffen die üblichen Datenraten um ein Vielfaches, während Gewicht und Leistungsverbrauch der Kommunikationssender an Bord des Satelliten klein gehalten werden können. Bodenstationsnetzwerke, bestehend aus einigen Stationen an günstigen Orten in Europa, ermöglichen Linkverfügbarkeiten bis nahezu 100 Prozent. Zur Demonstration direkter optischer Satelliten-Downlinks führte das DLR im Jahr 2006 die europaweit ersten Versuche mit dem Satelliten OICETS (Optical Inter-orbit Communications Engineering Test Satellite) der japanischen Raumfahrtagentur JAXA durch. Bei einer zweiten Kampagne im Jahr 2009 konnten weitere wertvolle Kenntnisse über das Verhalten der atmosphärischen Turbulenz gewonnen werden. Diese ergänzen das Wissen um das Verhalten des Kommunikationskanals und erleichtern es, DLR-eigene Satelliten-Terminals zu entwickeln. Diese sollen insbesondere auf kleinen Satelliten zum Einsatz kommen. ●

Autoren:

Florian Moll beschäftigt sich seit mehreren Jahren mit optischer Freiraumkommunikation, als Student und wissenschaftlicher Mitarbeiter im DLR-Institut für Kommunikation und Navigation. Er wirkte in mehreren Projekten zur Erprobung aeronautischer Freistrahkommunikation mit. Christian Fuchs ist seit 2006 wissenschaftlicher Angestellter in demselben Institut und leitet seit April 2011 eine Forschungsgruppe zur Optischen Freiraumkommunikation.

Aktuelle Anwendungen bei Großveranstaltungen und abhörsicherer Übertragung

Im Projekt VABENE geht es darum, bei Massenveranstaltungen oder nach Naturkatastrophen Lageeinschätzungen aus der Luft vorzunehmen. Die Einsatzkräfte sollen so mit aktuellem Bildmaterial versorgt werden. Hierfür stehen ein vom DLR-Institut für Methodik der Fernerkundung entwickeltes Kamerasystem und ein vom DLR-Institut für Hochfrequenz- und Radartechnik entwickelter SAR-Sensor zur Verfügung. Die Echtzeitverwendung dieser Daten am Boden soll mittels hochratiger, optischer Kommunikation zwischen Flugzeug und Bodenstation gewährleistet werden.

Ein weiterer Forschungsgegenstand sind Verfahren der Quantenkryptographie (QKD) in diesem Luft-Boden-Szenario. Nutzdaten können damit absolut abhörsicher übertragen werden. Hierfür kann das sogenannte BB84-Protokoll verwendet werden, bei welchem polarisierte Photonen vom Flugzeug abgestrahlt und von der Bodenstation empfangen werden. Werden diese Photonen abgefangen und somit abgehört, wird das beim Empfänger angezeigt und die Aktivität eines Lauscher ist aufgedeckt. Die Ludwig-Maximilians-Universität München (LMU) und das DLR führten Anfang 2011 die weltweit ersten Flugzeug-Boden-Versuche zur Erprobung dieser Technologie erfolgreich durch. Die Wissenschaftler der LMU integrierten in diesem Experiment ihr QKD-System in die Bodenstation und in das Flugterminal.



Teleskop zur optischen Kommunikation im Labor



Die transportable optische Bodenstation, bereit zum Empfang

Eine Bodenstation zur optischen Freiraumkommunikation – das Einfache, das schwer zu machen ist

Von Martin Brechtelsbauer, Joachim Horwath und Dirk Giggenbach

Höchste Datenraten absolut zuverlässig empfangen zu können, ist eigentlich herausfordernd genug. Dies für praktisch jeden Punkt der Erde zu realisieren – das war zunächst nur eine Vision. Doch für die Wissenschaftler des DLR-Instituts für Kommunikation und Navigation war sie verlockend genug, um den Bau einer transportablen Bodenstation für die optische Kommunikation anzugehen.

Superschnelle Kommunikation über kurze Strecken, Links zu Flugzeugen oder anderen hochfliegenden Plattformen, Satellitendownlinks – die Einsatzmöglichkeiten von Bodenstationen sind vielfältig. Wenn man sie an nahezu jeden Punkt der Erde transportieren kann, sind Datendownlinks überall dort möglich, wo es gerade Not tut: Bei Kriseneinsätzen zum Beispiel, wo Rettungsmannschaften schnell und in Echtzeit Luftaufnahmen des Katastrophengebiets zur Lagebeurteilung benötigen. Aber auch zur Evaluierung von Standorten für neue optische Bodenstationen kann eine solche Bodenstation genutzt werden. Doch die bisherige Labortechnologie in den rauen Outdoor-Einsatz zu bringen, ist nicht gerade einfach.

Bislang standen zur optischen Kommunikation mit verschiedenen Kommunikationspartnern nur sehr große, stationäre Teleskope wie die optische Bodenstation der ESA in Teneriffa oder die Optical Ground Station des Instituts für Kommunikation und Navigation im DLR Oberpfaffenhofen, kurz OGS-OP, zur Verfügung. Diese Stationen können aufgrund ihrer Bauart gar nicht oder nur mit großem Aufwand an einen anderen Einsatzort gebracht werden und eignen sich aufgrund der eingesetzten Komponenten nicht für den Feldeinsatz. Eine weitere Herausforderung stellt der Unterbau dar: Während stationäre Teleskope wegen der hohen Anforderungen an die Ausrichtgenauigkeit auf massiven Stahlbetonfundamenten errichtet werden, muss eine transportable Station möglichst leicht sein, ohne aber gegenüber einer Stahlkonstruktion Defizite in Stabilität und Biegesteifigkeit zu haben.

Weitere Herausforderungen stellten sich bei der Konstruktion des Teleskops selbst: Es sollte eine besonders kurze Bauform haben und die Möglichkeit bieten, die gesamte Einheit in einem kompakten, transportablen Behälter unterzubringen. Es galt also, eine transportable Station zu entwickeln, die trotz ih-

rer kompakten Bauweise die nötige Stabilität und Genauigkeit bei geringem Gewicht aufweist und einfach zu transportieren ist. Eines der Einsatzgebiete für eine solche Station ist die Datenübertragung in hohen Bitraten von und zu flugzeuggetragenen Systemen oder Satelliten.

Hochfest und doch flexibel

Konventionelle Trägermaterialien hatten hier keine Chance. High-Tech-Materialien mussten her. So besteht die gesamte Träger- und Mastkonstruktion aus einem hochfesten Kohlefaserverbundwerkstoff (CFK). Dieser weist gegenüber Aluminium eine wesentlich höhere Steifigkeit bei weniger Gewicht auf. Zudem hat der Werkstoff ein stark reduziertes Schwingungsverhalten, was der ruhigen Lage der Konstruktion zugute kommt.

Die Kohlenstofffasern in den Komponenten wurden entsprechend den auftretenden Beanspruchungen gelegt. Ein weiteres Kriterium für die Konstruktionsauslegung war die thermische Ausdehnung der Materialien. Die erforderliche Genauigkeit könnte nicht erreicht werden, wenn sich der Unterbau des Teleskops bei wechselnden Temperaturen verformen würde. Auch diese Herausforderung konnte durch entsprechendes Verlegen der Kohlenstofffasern gemeistert werden.

Und noch etwas ändert sich grundlegend: Stationäre Bodenstationen ändern ihre Ausrichtung nie. Ist die Blickrichtung der Optik mittels einer Kalibrierung beispielsweise anhand der Sterne einmal genau bestimmt, können Kommunikationspartner wie Satelliten sehr schnell und präzise „anvisiert“ werden. Die mobile Bodenstation muss je nach Einsatzort in unterschiedlichen Orientierungen aufgestellt werden. Bei der Einmessung hilft ein System, das geschickt die Daten aus in der Station integrierter Neigungssensorik und differentielltem GPS verknüpft

Eine mobile optische Bodenstation muss schnell einsatzfähig sein

und so die Ausrichtung und Lage der Station bestimmt. Für erhöhte Genauigkeit wurde auch ein GPS-gestütztes „Lasertarget“ entwickelt, das mit dem Lasersystem der Station zur Einmessung verwendet werden kann.

Teleskop der Extraklasse und Präzisionsantriebe

Das Herzstück der Anlage ist das Teleskop mit einem Primärspiegeldurchmesser von 60 Zentimetern. Dieses soll für den Einsatz auf eine Höhe über Grund von 3,5 Meter gebracht und für den Transport sicher verstaut werden. Dazu wurde eine Mechanik entwickelt, die sich pneumatisch aus einem CFK-Schalenelement ausklappt, in dem beim Transport das Teleskop sowie die gesamte Datenübertragungs- und Steuerungstechnik untergebracht ist. Um die Station auch während des Transports zu schützen, wurde ein Außencontainer gefertigt, in dem das Schalenelement über ein pneumatisches Dämpfungssystem gelagert ist, das Transportstöße kompensiert. Zur Inbetriebnahme werden die in der Transportkiste integrierten Stützen montiert, die Klappen des Containers öffnen sich und das Teleskop wird automatisch wie ein Schweizer Taschenmesser ausgeklappt. So ist die Station in kurzer Zeit einsatzbereit.

Die wichtigste Anforderung an das Teleskop selbst ist ein für die kurze Bauform maximal großer Spiegeldurchmesser. Die Wahl fiel auf die Ritchie-Chrétien-Bauart. Diese zeichnet sich durch eine kurze Baulänge und gute optische Korrektur aus. In astronomischen Teleskopen ist der meist aus Glas gefertigte Hauptspiegel nicht fest montiert, sondern wird in einer Aufhängung aus Druck- und Zugschrauben justiert. Eine solche Befestigung würde sich beim Transport des Teleskops allerdings unweigerlich verstellen. Daher beschlossen die Ingenieure, den Hauptspiegel aus Aluminium zu fertigen und fest zu montieren. Das Teleskop wird ausschließlich über die Sekundärspiegel ausgerichtet, was die Gefahr der Dejustage während des Transports minimiert.

Die Fertigung der Spiegeloberflächen aus Spezialaluminium erfolgt durch spanabhebende Bearbeitung des Rohlings auf einer Präzisionsdrehbank. Zusammen mit dem Fraunhofer-Institut für angewandte Optik und Feinmechanik (IOF) in Jena wurde das Verfahren soweit optimiert, dass die Oberfläche in einem einzelnen Durchgang gefertigt werden kann. Es sind im Gegensatz zur herkömmlichen Spiegelfertigung keine Korrekturmessungen und Nachbearbeitungen nötig, was Kosten spart.

Um das Teleskop schließlich auf den Kommunikationspartner ausrichten zu können, ist es auf einer zweiachsigen Gabelmontierung befestigt. Bereits 2007 wurden am Institut für Kommunikation und Navigation erstmals Direktantriebe (Torquemotoren) für hochpräzise und spielfreie Antriebe in der optischen Freiraumkommunikation eingesetzt. Diese erlauben eine hochgenaue Ausrichtung des Teleskops in zwei Achsen. Die Präzision der verwendeten Direktantriebe und deren Spielfreiheit gewährleistet eine hervorragende Genauigkeit beim Positionieren. Die für den Antrieb verwendeten Torquemotoren sind auf kleine Drehzahlen und hohes Drehmoment optimierte Servomotoren. Durch die Verwendung von hochauflösenden Encodern auf der Abtriebsseite lässt sich so das Teleskop dem Kommunikationspartner präzise und schnell nachführen. Zudem sind die entwickelten Antriebseinheiten sehr kompakt und lassen sich durch ihre Hohlwellenbauform in die Drehmechanik integrieren.

Wenn der Einsatzort mit einem Fahrzeug erreichbar ist, steht auch ein Transportfahrzeug mit integriertem Arbeitsraum für das Bedienpersonal zur Verfügung. Es dient gleichzeitig als



Transporter für die Bodenstation, die entweder auf dem Fahrzeug oder abgesetzt betrieben werden kann. Das Gesamtsystem aus Transporter und Kommunikationseinheit wird im Rahmen einer DLR-Großinvestition entwickelt und soll 2012 fertig gestellt werden. Derzeit laufen die ersten Testkampagnen. Der erste Einsatz ist im DLR Projekt VABENE für das luftgestützte Verkehrsdatenerfassungssystem geplant. Durch die hohe Datenrate der Sensoren ist die optische Übertragung der Daten vom Flugzeug zur Bodenstation eine Schlüsselkomponente für das Echtzeitsystem. Die optische Freiraumkommunikation ergänzt in idealer Weise den konventionellen Mikrowellenrichtfunk der immer mehr an seine Grenzen stößt. Somit werden unter anderem kompakte Flugterminals mit hoher Datenrate möglich, deren Übertragungstechnik nicht der behördlichen Frequenzulassung für Funksysteme unterliegt und somit weltweit und sofort eingesetzt werden kann. ●

Autoren:

Martin Brechtelsbauer ist wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Gruppe Angewandte Optische Freiraumkommunikation. Er beschäftigt sich seit 2005 mit der Entwicklung von elektronischen Baugruppen für die Laserkommunikation und leitet das Projekt TOGS – Transportable Optische Bodenstation. Joachim Horwath ist seit 2002 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Kommunikation und Navigation. Er leitet zahlreiche Projekte, in denen neue Terminals für optische Freistrahlkommunikation entwickelt und die Einflüsse der Atmosphäre auf die Übertragung studiert wurden. Dr.-Ing. Dirk Giggenbach ist Leiter der Gruppe Grundlagen der Optischen Freiraumkommunikation im Institut für Kommunikation und Navigation. Seine Forschungsgruppe befasst sich mit zukünftigen Anwendungen der Laserkommunikation wie hochgenaue optische Frequenzübertragung, Adaptive Optik und optische Feeder-Links.

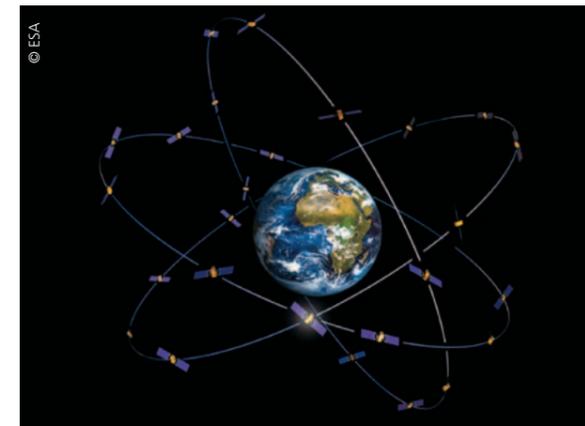
Weitere Informationen:
www.DLR.de/KN

Galileo im Aufstieg

Seit 21. Oktober 2011 umrunden die ersten zwei Satelliten des europäischen Navigationssystems die Erde. Nachdem sie in ihre Umlaufbahn gebracht wurden, ging die Verantwortung für ihren Betrieb auf das Galileo-Kontrollzentrum der DLR GfR mbH in Oberpfaffenhofen über. Es teilt sich die Aufgabe mit Kollegen im italienischen Fucino. Ihr gemeinsames Ziel ist es, das gesamte Galileo-System mit einer ganzen Flotte von Satelliten und komplexen Anlagen für die Navigationsprozessierung zuverlässig und sicher zu betreiben.

Das europäische Satellitennavigationssystem nimmt Form an

Von Sean Blair



Insgesamt 30 Galileo-Satelliten sollen in Zukunft die Erde umrunden und mit ihren Signalen eine Vielzahl von Navigationsfunktionen ermöglichen

Am 21. Oktober 2011 wurden die ersten beiden Galileo-Satelliten vom neuen Weltraumbahnhof in Französisch-Guayana aus an Bord einer Sojus ST-b-Trägerrakete in ihre Umlaufbahn gebracht. Damit sind die ersten Elemente des Galileo-Systems im Orbit. Bis zur Komplettierung ist es zwar noch ein weiter Weg – bis zum Ende dieses Jahrzehnts sollen 28 weitere Satelliten gestartet werden –, der erste Schritt ist jedoch getan.

Der Start wurde im Galileo-Kontrollzentrum in Oberpfaffenhofen bei München sehr aufmerksam verfolgt. Über das professionelle Interesse hinaus ist das darauf zurückzuführen, dass dieser Start den Beginn einer lang erwarteten neuen Ära in der satellitengestützten Navigation bedeutet. Seitdem die Systeme der Satelliten in ihrer ersten, der sogenannten „Launch and Early Operation“-Phase aktiviert wurden, werden sie nun aus einem eleganten Gebäude mit Glasfassade am Standort des DLR in Oberpfaffenhofen gesteuert und überwacht: Das Galileo-Kontrollzentrum wird von der DLR-Gesellschaft für Raumfahrtanwendungen (kurz: DLR GfR), einem Unternehmen des DLR, betrieben.

„Das Kontrollzentrum ist das Herz des Galileo-Projekts am Boden“, erklärt Walter Päßgen, Technischer Geschäftsführer der DLR-Gesellschaft für Raumfahrtanwendungen. „Genauer gesagt ist es Teil eines Doppelherzens, da wir mit einem zweiten Zentrum in Fucino in Italien zusammenarbeiten. Oberpfaffenhofen ist vor allem für Überwachung und Steuerung der Satelliten verantwortlich, während die Verarbeitung der Navigationsdaten und die Erzeugung entsprechender Navigationssignale für die Satelliten primär von Fucino aus erfolgen.“ Der Einsatz von zwei Kontrollzentren erhöht die Betriebssicherheit und damit die Zuverlässigkeit des Galileo-Systems. Die Kontrollzentren arbeiten im Unterauftrag des deutsch-italienischen Gemeinschaftsunternehmens Spaceopal GmbH, das den Hauptauftrag für den Betrieb des Galileo-Systems von der Europäischen Kommission und der Europäischen Weltraumorganisation ESA erhalten hat. Spaceopal ist von der DLR GfR und der italienischen Firma Telespazio gegründet worden.

21. Oktober 2010: Eine Sojus-Rakete bringt die ersten beiden Satelliten des Galileo-Systems ins All





Der Galileo-Satellit No. 1 während mechanischer Tests bei Thales Alenia Space in Rom im Mai 2011



Nach Absprennen der Nutzlastverkleidung wird die kostbare Fracht sichtbar: die Galileo Satelliten



Das Galileo-Kontrollzentrum im DLR in Oberpfaffenhofen. Von hier aus werden die Satelliten gesteuert und überwacht.

„Im Rahmen des derzeitigen Vertrags, der bis 2014 läuft, werden die Kontrollzentren identisch ausgestattet“, fügt Päßgen hinzu. „Danach sollen beide Zentren in der Lage sein, die Aufgaben des jeweils anderen im Notfall zu übernehmen. Dazu werden die Teams des einen Standorts auch in den Aufgaben des Teams des anderen Standorts geschult. Unser Ziel ist ein System, das so zuverlässig wie möglich funktioniert.“ Deshalb führen die Kontrollzentren nicht nur ihre Hauptaufgaben aus, sondern beschäftigen auch ein kleines Team, das die übrigen Aufgaben innerhalb kürzester Zeit übernehmen kann und im weiteren Verlauf von den Kollegen des anderen Zentrums unterstützt wird. Letztendlich soll es möglich sein, die Funktionen der beiden Kontrollzentren bei Bedarf ohne signifikante Unterbrechung des Betriebs auszutauschen. Die Herausforderung des Galileo-Projekts liegt in der Steuerung einer großen Anzahl von Satelliten. Schließlich soll das System im Endausbau einmal 30 Satelliten umfassen.

Walter Päßgen erklärt: „Standardmäßig muss sichergestellt werden, dass wichtige Betriebsparameter der Satelliten in definierten Bereichen liegen.“ Dazu gehören Stromversorgung und Lage der Satelliten – die Hauptantenne muss stets zur Erde weisen. „Ist das nicht der Fall“ so Päßgen, „wird per Telekommando korrigiert.“

Die Planung des Betriebs eines einzelnen Galileo-Satelliten sei nicht ganz so aufwendig wie die für eine wissenschaftliche Mission, erläutert der DLR GfR-Geschäftsführer. Die Arbeit mit dem gesamten System aus 30 Satelliten würde jedoch kompliziert. Das sei neu für europäische Einrichtungen. „Wir haben zwar bereits mit Satellitenflotten gearbeitet, diese waren jedoch kleiner und befanden sich nicht auf einer mittleren Erdumlaufbahn. Mit unseren global verteilten Bodenstationen – davon werden wir im Endausbau fünf haben – stehen wir jeweils nur mit fünf der Satelliten in Kontakt. Wir müssen also ein Planungssystem einsetzen, mit dem sich die besten Kontaktmöglichkeiten auswählen lassen. Die mittlere Erdumlaufbahn in einer Höhe von 23.222 Kilometer ist eine relativ stabile Bahn, wir gehen jedoch davon aus, dass dennoch gelegentlich Manöver zur Korrektur der Drift erforderlich werden.“

Im Kontrollzentrum in Oberpfaffenhofen sind etwa 60 Ingenieure und Techniker mit Galileo beschäftigt. „Unser Team musste sich zunächst mit den Funktionen der Satelliten und der Steuerungsanlagen am Boden vertraut machen und anschließend operationelle Datenbanken mit Telemetrieparametern und Telekommandos sowie Angaben zur Interpretation und Verarbeitung füllen“, führt Päßgen aus. Zur Überprüfung der Daten wurde mit Satellitensimulatoren und – vor dem Start – mit den Galileo-Satelliten am Boden, zunächst am Ort der Satellitenintegration in Rom und dann unmittelbar vor dem Start in Französisch-Guayana, gearbeitet. Nachdem Steuerung und Überwachung der Satelliten an Oberpfaffenhofen übergeben wurden, begann das Galileo-Kontrollzentrum mit einer intensiven dreimonatigen In-Orbit-Testphase. Dazu nutzt es eine mit speziellen Messapparaturen ausgestattete Bodenstation in Redu, Belgien. Ähnliche Testkampagnen sind für jede Gruppe von Galileo-Satelliten vorgesehen. Das nächste Paar soll Mitte 2012 in seine Umlaufbahn gebracht werden.

„Für uns ist das eine sehr aufregende Zeit“, so der Leiter des Galileo-Kontrollzentrums. „Meine DLR-Kollegen und ich waren an den ersten Studien der Europäischen Weltraumbehörde und der Europäischen Kommission vor mehr als zehn Jahren beteiligt. Es ist ein tolles Gefühl zu wissen, dass die ersten Satelliten im Weltraum sind und weitere sozusagen auf dem Weg.“ ●

Das europäische Satellitennavigationssystem

Galileo ist ein unabhängiges europäisches Satellitennavigationssystem. Das vollständige Galileo-System besteht aus 30 Satelliten in drei Bahnebenen in einem Abstand von 23.222 Kilometern zur Erde. Der Galileo-Navigationsdienst ist damit global verfügbar.

Jeder Satellit sendet ständig genau synchronisierte Ortungssignale, mit denen Empfänger die Signallaufzeiten und damit den vom Signal zurückgelegten Weg berechnen können.

Für eine Positionsbestimmung müssen Signale von mindestens vier Satelliten empfangen werden; drei zum Ermitteln der räumlichen Positionskordinaten sowie einer zur Kompensation des zeitlichen Versatzes zwischen der Empfängeruhr und der Systemzeit.

Die Genauigkeit des Systems hängt entscheidend von der Zeitmessung ab. Der Fehler der Atomuhren an Bord der Galileo-Satelliten liegt bei weniger als einer Sekunde in drei Millionen Jahren. Eine Zeitabweichung von einer Nanosekunde entspricht einer Distanz von 30 Zentimetern, daher werden alle Borduhren ständig miteinander synchronisiert.

Sensorstationen vermessen die Satellitensignale. Dies ist die Grundlage zur Berechnung der Satellitenbahnen und Uhrenversätze. Derzeit stehen zwei (zukünftig bis zu fünf) Antennen-Stationen für Telemetrie und Steuerung der Satelliten zur Verfügung. Sie stellen die Verbindung zwischen dem Satelliten und dem Kontrollzentrum Oberpfaffenhofen her. Im Kontrollzentrum Fucino werden alle 100 Minuten die neuesten Bahnen und Uhrenkorrekturen berechnet und als Navigationsbotschaft formatiert. Diese werden dann über die Uplink-Stationen an die Satelliten übermittelt.

GATE für Galileo

Die Galileo Test- und Entwicklungsumgebung (Galileo Test and Development Environment, GATE) in der Region Berchtesgaden verfügt über Sendeanlagen auf nahe gelegenen Bergen. Dies ermöglicht Wissenschaftlern und Produktentwicklern Feldtests in einem Gebiet von 65 Quadratkilometern. GATE steht sowohl der kommerziellen als auch der wissenschaftlichen Forschung offen. Von den acht Sendestationen werden Signale ausgesendet, die konform zu denen der ab 2014 im Erdorbit stationierten Galileo-Satelliten sind. Technisches Hauptmerkmal von GATE ist der sogenannte Virtual Satellite-Betriebsmodus (VSM). Dabei ändern die Sendestationen Signalfrequenz und -phase so, wie sie ein Beobachter von acht das Testgebiet überfliegenden Satelliten empfangen würde. Somit steht den Empfangsgeräten und Anwendungen im Testgebiet ein Signal zur Verfügung, das sich – abgesehen von der Ausbreitungsrichtung – von einem „echten“ Galileo-Satellitensignal nicht unterscheidet.

Die große Antenne

In Zusammenarbeit mit dem Institut für Kommunikation und Navigation wird die DLR GfR im Rahmen eines Auftrags der ESA die 30-Meter-Parabolantenne des Deutschen Raumfahrt-Kontrollzentrums in Weilheim als Galileo Signal Monitoring Facility nutzen. Die Antenne wurde zum Betrieb der amerikanisch-deutschen Sonnensonden Helios I und II erbaut und besteht 2012 vierzig Jahre. Sie war schon mehrere Jahre nicht mehr genutzt worden, als sie für Galileo gewissermaßen entdeckt wurde. Sie wurde neu instrumentiert und sorgfältig kalibriert. Ihre enorme Empfindlichkeit erlaubt es, die Signaleigenschaften der Galileo Satelliten mit großer Genauigkeit zu charakterisieren.



Doppelte Premiere: Erstmals startete eine russische Sojus-Rakete von Kourou in Französisch-Guyana aus. Ihre Fracht: die ersten beiden Satelliten des zukünftigen Galileo-Systems.

Autor:
Sean Blair ist Journalist und für das in Leiden (Niederlande) ansässige Redaktionsbüro EJR-Quartz tätig. Er schreibt hauptsächlich für die ESA.

Weitere Informationen:
<http://s.dlr.de/f412>



Emissionsfrei zur Startbahn

Josef Kallo leitet das Fachgebiet Brennstoffzellen-Systemtechnik am Institut für Technische Thermodynamik im DLR Stuttgart



Leise und ohne Emissionen fährt die 48-Tonnen-Maschine über die Rollbahn. Ein ungeübten Betrachter fallen wahrscheinlich nur die rote Farbe des Bugfahrwerks und einige Kabel an der Außenhaut auf. Ein aufmerksamer Beobachter bemerkt, dass sich die Triebwerksschaufeln beider Turbinen nicht drehen und stellt sich vielleicht die Frage: Was treibt dieses Flugzeug an? Ein Flugzeugkenner hat vermutlich erkannt: Das Bugrad stimmt nicht mit dem Original eines A320 überein und wird hier den Grund für den geräuschlosen Antrieb vermuten. Und in der Tat, das A320-Versuchsflugzeug (D-ATRA: Advanced Technology Research Aircraft) des Deutschen Zentrums für Luft und Raumfahrt, das auf dem Taxiway des Flughafens Hamburg-Finkenwerder rollt, wird von einer Wasserstoff-Brennstoffzelle elektrisch angetrieben.

Brennstoffzellengetriebenes Bugrad bringt ATRA zum Rollen

Von Josef Kallo und Dorothee Bürkle

DLR-Forschung an Brennstoffzellen für die Luftfahrt

Das DLR arbeitet seit rund drei Jahren im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (BMWi) am emissionsfreien Bodenantrieb für Flugzeuge. Im Rahmen des Luftfahrtforschungsprogramms LuFo IV hat das DLR in Zusammenarbeit mit dem Partner Airbus Deutschland GmbH ein flugzeugtaugliches Brennstoffzellensystem für verschiedene Einsatzbereiche entwickelt. Der Betrieb einer aus der Luftfahrtindustrie stammenden Wasserstoff-Sauerstoff-Brennstoffzelle im Versuchsflugzeug ATRA gelang, damals unter Federführung von Airbus, bereits 2008. Dabei konnte ein Brennstoffzellen-Notfallenergiesystem alle Flugsteuerungsfunktionen eines A320 in einer Höhe von 33.000 Fuß übernehmen und unter starken Beschleunigungs- und Vibrationsbelastungen zuverlässig arbeiten.

Dieses Bugrad hat es in sich: Zwei mit insgesamt 70 PS Leistung ausgestattete Elektromotoren – direkt im Rad eingebaut – setzen den Airbus A320 ATRA in Bewegung

Der Rollversuch vom 1. Juli 2011 ist der erfolgreiche Abschluss einer langjährigen internationalen Zusammenarbeit des DLR unter der Federführung des Instituts für Technische Thermodynamik aus Stuttgart mit Airbus Deutschland, Airbus France, Airbus UK und der Lufthansa Technik (LHT). Er hat gezeigt, dass ein von einer Brennstoffzelle angetriebenes Bugrad ein großes Verkehrsflugzeug am Boden bewegen kann.

Fliegen mit einer Brennstoffzelle wird in absehbarer Zeit mit keinem Verkehrsflugzeug möglich sein. Dies ist bislang – weltweit einzigartig – nur mit dem Motorsegler Antares DLR-H2 gelungen. Trotzdem ist der Einsatz der Brennstoffzelle in der Luftfahrt vielversprechend: Sie bietet interessante Möglichkeiten, den Schadstoffausstoß zu reduzieren und kann die Abhängigkeit von fossilen Treibstoffen vermindern. Auch bei der Energieeffizienz weist die Brennstoffzelle Vorteile auf: Sie arbeitet als direkter elektrochemischer Energiewandler, der aus Wasserstoff und Sauerstoff elektrische Energie produziert, deutlich effizienter als eine Verbrennungskraftmaschine mit gekoppeltem Generator.

Mit dem erstmaligen Einsatz der Brennstoffzelle in der Luftfahrt hat sich das DLR viel vorgenommen: Zunächst musste zusammen mit dem Partner Airbus der Nachweis erbracht werden, dass ein solches System unter Luftfahrtbedingungen, die so nah wie möglich an die entsprechenden Luftfahrtnormen angelehnt sind, funktioniert. Dafür wurde eine neue Brennstoffzellenarchitektur entwickelt, die flexibler und gleichzeitig stabiler war. Eine weitere Auflage war, sämtliche sicherheitsrelevanten Ventile und Rohre aus Plastik und Teflon, die unter den Belastungen porös werden können, gegen Ventile und Rohre aus Metalllegierungen auszutauschen. Das war, wie bei allen Innovationen in der Luftfahrt, ein langwieriger Prozess, weil hier höchste Ansprüche an die Sicherheit bestehen. Am Ende der Entwicklung stand ein völlig neues Brennstoffzellensystem.



Auf einer luftfahrttauglichen Palette sicher befestigt: Das Brennstoffzellensystem im A320, das die Elektromotoren antreibt



Hohe Sicherheitsanforderungen: In vielen Tests, wie hier in Stuttgart, musste sich das Brennstoffzellensystem als tauglich für die Luftfahrt erweisen

Nicht nur das Brennstoffzellensystem, auch das Bugrad war für den Antrieb durch die Brennstoffzelle völlig neu zu konstruieren. Von Anfang an war klar, dass die notwendige Leistung nur dann optimal zur Verfügung steht, wenn sich die beiden Elektromotoren, die das Bugrad antreiben, direkt im Rad selbst befinden. Die Herausforderung war dann, diese Elektromotoren mit einer Leistung von jeweils 25 Kilowatt (insgesamt 70 PS) auf dem engen Raum in der Bugradfelge des A320 unterzubringen. Hochintegrierte Motorkonzepte des Instituts für Fahrzeugkonzepte haben dies ermöglicht. Bei der Auslegung des Bugradantriebs spielte aber nicht die Leistung die entscheidende Rolle, sondern die richtige Kraftentfaltung der Motoren mittels des Drehmoments. Dieses Drehmoment muss ausreichen, um einen vollbesetzten A320 aus dem Stand in Bewegung zu setzen.

Der zweite wichtige Punkt bestand in der Synchronisation der Motoren und der Anti-Schlupfregelung (ASR), die verhindern soll, dass bei der Anfahrt weder die Räder auf dem Boden noch die Felge in den Gummireifen durchdrehen. Die maximal auftretenden Momente wurden mit rund 11.000 Newtonmeter berechnet. In der Praxis zeigte sich jedoch, dass ein Drehmoment von 7.000 Newtonmeter ausreichend ist, um das Anfahrmoment zu überwinden und das Flugzeug in Bewegung zu setzen. Da ein Elektromotor drehrichtungsunabhängig ist, kann das Flugzeug damit ebenso vorwärts wie rückwärts rollen. Mit dem derzeit getesteten System kann eine A320 bei abgeschalteten Triebwerken mit 15 Stundenkilometer vom Gate bis zur Startbahn rollen. Geplant ist eine Verdopplung der Leistung der Elektromotoren, so dass das Flugzeug am Boden Geschwindigkeiten bis zu 54 Stundenkilometer erreichen kann.

Eine Plattform für das Brennstoffzellensystem

Bei der Wahl des Brennstoffzellensystems kam bedingt durch die Leistungsanforderungen, das maximale Leistungsgewicht und die Technologiereife nur eine Niedertemperatur-PEM (NT-PEM) in Frage. Beim Aufbau des Systems fiel die Entscheidung für bestehende Subkomponenten der Firma Hydrogenics (Stack, Anoden-Rezirkulationspumpe und Lüfter). Die Brennstoffzelleneinheit wurde auf einer luftfahrttauglichen Palette befestigt, die üblicherweise Last-Container aufnimmt. Dank der Palette befindet sich die Brennstoffzelle auf einem stabilen Unterbau. Sie lässt sich als Plattform leicht an die richtige Position im Frachtraum schieben und mit dem im Flugzeug vorhandenen Verriegelungssystem an vier Punkten sicher fixieren.

Der Plattformgedanke zog sich weiter durch das gesamte Architekturkonzept, so dass der erste Aufbau zur Test-Technologieplattform erweitert wurde. Darüber hinaus bietet das Plattformkonzept die Möglichkeit, einzelne Komponenten sehr schnell auszutauschen und die Änderungsnachverfolgung zu

vereinfachen, wenn sich die geforderten Spezifikationen in der Praxis nicht ausreichend bewähren sollten. Ein weiterer Vorteil des Plattformkonzepts ist die Klassifizierung und Einteilung der wasserstoffführenden Komponenten nach Druck (Niederdruck bis 7 bar, Hochdruck bis 350 bar) und Gefährdungsklassen. Für jeden Bereich konnten so einzelne Maßnahmen zur Maximierung der Betriebssicherheit erarbeitet werden, bis hin zur Neuentwicklung ausschließlich Hardware-basierter, vierfach redundanter Wasserstoffsensoren mit der Möglichkeit zur Nachkalibrierung. Diese Arbeiten waren Teil der von Airbus ausgearbeiteten Sicherheitsanalyse zum Betrieb des Brennstoffzellensystems im Flugzeug.

Die Inbetriebnahme und die Leistungsoptimierung des Brennstoffzellensystems gestaltete sich anfänglich als sehr zeitintensiv, da allein die serielle Sicherheits-/Abschaltkette etwa 30 direkt angesteuerte Relais und über 30 Software-Parameter enthält. Zu dem Sicherheitskonzept gehörten neben einer Gefährdungspotenzialanalyse auch eine Fehlermöglichkeits- und Fehlereinflussanalyse, kurz FMEA/FTA, und eine auf einzelne Komponenten berechnete Ausfallwahrscheinlichkeit. Darauf basierend wurden sowohl Klimabelastungstests mit Dauerbetrieb bei Außentemperaturen von +1 bis +50 Grad Celsius als auch Schock- und Beschleunigungstests bis zu 16 g unter Last erfolgreich durchgeführt. Insgesamt sammelten die Forscher über mehrere hundert Stunden Betrieb und mehrere hundert Start-Stopp-Vorgänge wichtige Erfahrungen. Das System erwies sich als robust und zuverlässig.

Bei der Auslegung der Brennstoffzellensystemarchitektur wurden nicht nur Luftfahrtnormen eingehalten, es konnte zudem der Ansatz der Multifunktionalität realisiert werden. An Bord des Flugzeugs liefert die Brennstoffzelle übrigens mehr als nur Strom, sie liefert auch sauberes Wasser. So wurden im Betrieb bis zu 0,5 Kilogramm Wasser pro erzeugter Kilowattstunde produziert. Dieses Wasser kann über eine sehr kurze Rohrverbindung in das Wasserleitungssystem im Flugzeug eingespeist werden. Das erspart Wasser an Bord zu nehmen und mindert so das Startgewicht.

Weniger Schadstoffe und geringerer Lärm am Flughafen

Ein Flugzeug, das am Boden durch eine Brennstoffzelle angetrieben wird, bewegt sich, zumindest bis zur Startbahn, leise und ohne den Ausstoß von Schadstoffen. Am Beispiel des Frankfurter Flughafens lassen sich so etwa 18 bis 20 Minuten Triebwerkslaufzeit pro Start und Landung sparen (die notwendigen Abkühlungszeiten und Aufwärmzeiten von bis zu vier Minuten sind nicht inbegriffen). Das kann bei bis zu sieben Einsätzen pro Tag für ein Flugzeug der A320-Klasse eine Triebwerkslaufzeitsparung pro Flugzeug und Tag von bis zu 3,5 Stunden

Vernetztes Arbeiten für ein gemeinsames Ziel

Das Forschungsportfolio des DLR von der Grundlagenforschung bis zu anwendungsorientierten Entwicklungen spielte bei der nachfolgenden Qualifizierung des gesamten Brennstoffzellensystems für den Betrieb in einem Flugzeug eine wichtige Rolle. Ausschlaggebend für das Projekt waren auch die Ressourcen und die enge Zusammenarbeit von Luftfahrt- und Energie-Instituten im DLR. So wurden die Anforderungen und die Dokumentation der Einbaunachweise am Institut für Flugsystemtechnik in Zusammenarbeit mit den Luftfahrt-Entwicklungsbetrieben des DLR, Airbus und Lufthansa Technik sowie der Muster-

prüfleitstelle des DLR ausgearbeitet. Die Einsparkonzepte basieren auf Arbeiten des Instituts für Flugführung. Die Versuchsbetreuung wurde von der Einrichtung Flugexperimente und dem ATRA-Management vorgenommen. Die Ergebnisse fließen somit in die weiteren gemeinsamen Entwicklungsarbeiten des DLR und Airbus für den Ersatz der Auxiliary Power Unit (APU) durch ein Brennstoffzellensystem ein.

Für die Realisierung des elektrischen Bugradkonzepts wurde auf das Institut für Fahrzeugkonzepte in Stuttgart und die Expertise einiger Ingenieursdienstleister, zum Beispiel die Firma Codtronic, zurückgegriffen.



Leise und ohne Abgase zur Startbahn: Der Airbus A320 ATRA bei den Bugradtests im Juli 2011 in Hamburg

bedeuten. Auf's Jahr hochgerechnet summiert sich die Einsparung auf etwa 800 bis 1.000 Stunden. In Kraftstoffmengen ausgedrückt ergeben sich ebenfalls erhebliche Einsparungen: Pro Flugzeug können jeden Tag 200 bis 400 Liter Kerosin eingespart werden. Weniger Betriebszeiten der Triebwerke am Boden haben noch einen weiteren Vorteil: Die Flugzeuge müssen weniger häufig gewartet werden. Dies spart Kosten und Ausfallzeiten der Flugzeuge.

Wenn die Brennstoffzelle in einem Flugzeug zum Einsatz kommt, müssen die Flugzeuge regelmäßig mit Wasserstoff betankt werden. Ein ausreichend großer Flüssigwasserstofftank, der außerhalb des Flugzeugdruckbehälters im hinteren Bereich untergebracht ist, muss nur einmal pro Tag aufgefüllt werden.

Aufgrund der regelmäßigen und sehr guten Planbarkeit des Einsatzes erscheint diese Speicherform erstrebenswert.

Es bleibt zu hoffen, dass der altbekannte Teufelskreis „keine Tankstelle – kein Verbraucher – kein Bedarf – keine Tankstelle“ an den Flughäfen vielleicht schneller durchbrochen werden kann, als es für den Straßenverkehr der Fall ist. ●

Weitere Informationen:
www.DLR.de/TT

Der Zug der Zukunft kommt in Fahrt

Seit 2007 forschen Wissenschaftler aus neun DLR-Instituten am Zug der Zukunft, dem Next Generation Train (NGT). Ein Hochgeschwindigkeitszug, der bis zu 400 Stundenkilometer schnell sein soll und dennoch pro Sitzplatz 50 Prozent weniger Energie als ein ICE3 verbraucht. Leicht und doppelstöckig soll der NGT die Fahrgäste befördern und dabei ebenso komfortabel wie sicher sein. Ehrgeizige Ziele. Dr. Joachim Winter erklärt, wie das von ihm geleitete Projekt inzwischen Fahrt aufgenommen hat.

Das Konzept für den Next Generation Train steht

Von Elisabeth Mittelbach

Herr Dr. Winter, der Zug der Zukunft ist seit 2008 Ihr Thema. Wie weit sind Sie gekommen?

Es ist ein innovatives Fahrzeugkonzept definiert worden. Auf dieser Basis werden gerade Detailuntersuchungen zu vielen Themen wie Leichtbau, Fahrdynamik, mechatronisches Fahrwerk, Aerodynamik, Akustik und Energiemanagement durchgeführt. Bei dieser Vielfalt ist eine vernünftige Vernetzung das A und O. Die gute institutsübergreifende Zusammenarbeit in den verschiedenen Arbeitspaketen sehe ich als Erfolg an.

Sicher, komfortabel, umweltfreundlich – das sind Attribute, die eigentlich für jeden Zug gelten sollten. Was ist das Besondere am Zug der neuen Generation, wie das DLR ihn plant?

Nur wenige Züge können heute schneller als 350 Stundenkilometer fahren und sind mit einem Wagenkastengewicht

inklusive Fahrgästen von weniger als 32 Tonnen unterwegs. Bei einem so geringen Gewicht könnte der Steuerwagen durch Seitenwind aus dem Gleis gehoben werden, wenn wir hierfür nicht Vorkehrungen treffen. Mit einer durchgehend recht glatten Oberfläche senken wir den Luftwiderstand und reduzieren damit Lärm sowie Energiebedarf.

Die Fahrgäste sitzen also in einem ruhigen, klimatisierten Doppelstock-Triebwagenzug mit acht Mittelwagen und zwei Endwagen. Für einen schnellen Fahrgastwechsel bietet der Zug der Zukunft Ein- und Ausstiege auf zwei Ebenen an. Der Fahrgast steigt an einer Tür ein und verlässt den Waggon diagonal gegenüber. Um das Gepäck der Fernreisenden kümmert sich eine gesonderte Gepäckanlage. Im mittleren Wagen befindet sich oben das Restaurant und unten sind die Sonderabteile für Eltern/Kinder und bewegungseingeschränkte Personen untergebracht, die per Fahrstuhl das Restaurant erreichen können.

Das sieht ja schon sehr konkret aus. Doch das DLR ist eine Großforschungseinrichtung, baut also keine Züge. Das macht die Bahnindustrie. Wie sieht die Zusammenarbeit aus?

Sie ist in Kooperationsverträgen geregelt. Unsere Interessen vertreten wir in dem halbjährlich tagenden Collaboration Board. Spezielle Themen werden in Arbeitstreffen konkretisiert. Auf dieser Grundlage gibt es industriebezugschusste Patentschaften für DLR-Mitarbeiter und wir tauschen auch Personal aus.

Welchen wirtschaftlichen Nutzen sagen sie dem NGT voraus?

Der Hochgeschwindigkeitszug ist eine Alternative zum Kurzstrecken-Flug mit hoher Kapazität und macht das Reisen auf solchen Strecken sehr attraktiv. Mit einem Software-Programm können wir die Fahrgastpotenziale sowie die notwendigen Bahnstrecken ermitteln und sogar die Baukosten einer Neubaustrecke abschätzen. Für den NGT attraktiv ist im Wesentlichen das trans-europäische Streckennetz mit Vorrang für Flughafenverbindungen, wie es im Weißbuch der EU-Kommission im April 2011 veröffentlicht wurde. Unsere Referenzstrecke ist Paris – Wien.

Wie werden wir in 20 Jahren Bahn fahren?

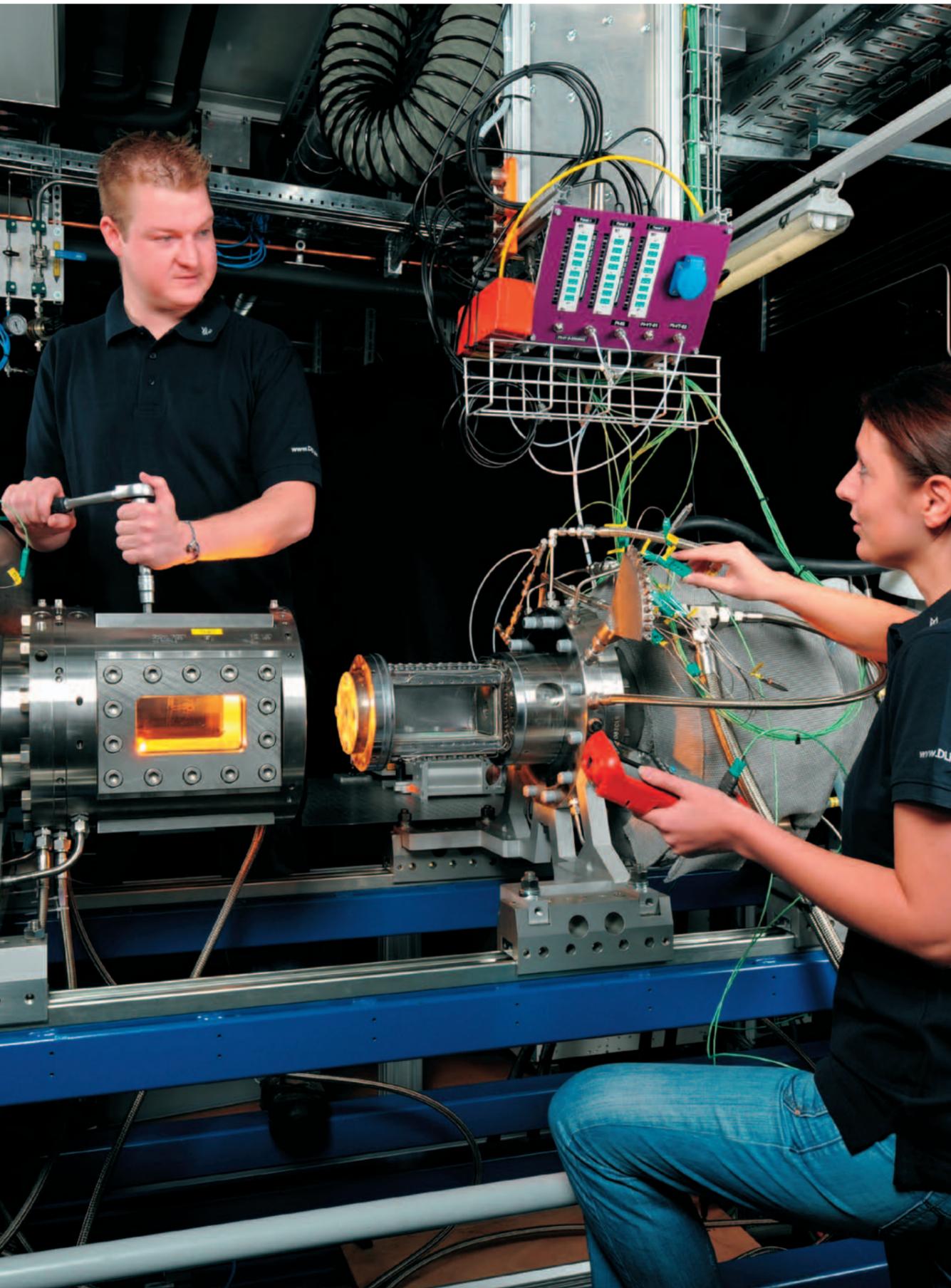
Dr. Winter: Aufgrund der langen Lebenszyklen bei Schienenfahrzeugen noch ähnlich wie heute. Doch wir streben an, dass die Technologie des NGT in aktuelle Beschaffungspläne einfließt. Wir wollen damit nicht bis zum Projektende warten. ●



Dr. Joachim Winter vom DLR-Institut für Fahrzeugkonzepte in Stuttgart leitet das Projekt Next Generation Train

Weitere Informationen:
www.DLR.de/NGT

Künstlerische Darstellung des Zuges der Zukunft



Ohne dass was bleibt

Die Stromversorgung in Deutschland steht vor einem grundlegenden Wandel. Nach dem beschlossenen Ausstieg aus der Kernenergie im kommenden Jahrzehnt wird der Bau neuer Kraftwerke wichtiger denn je. Denn Industrie, Verkehr und Haushalte in Deutschland brauchen pro Jahr über 600 Milliarden Kilowattstunden. Allein aus Wind, Wasser und Sonne kann bisher erst ein Fünftel dieser Strommenge gewonnen werden. Wissenschaftler aus dem Stuttgarter DLR-Institut für Verbrennungstechnik suchen daher nach Wegen, auch mit Kohle- und Gaskraftwerken klimafreundlich Strom zu erzeugen.

Wege zum CO₂-freien Kraftwerk

Von Jan Oliver Löffken

Auch Kohle- und Gaskraftwerke können klimafreundlich Strom erzeugen – DLR-Forscher in Stuttgart arbeiten an neuen hoch effizienten Oxyfuel-Verfahren.

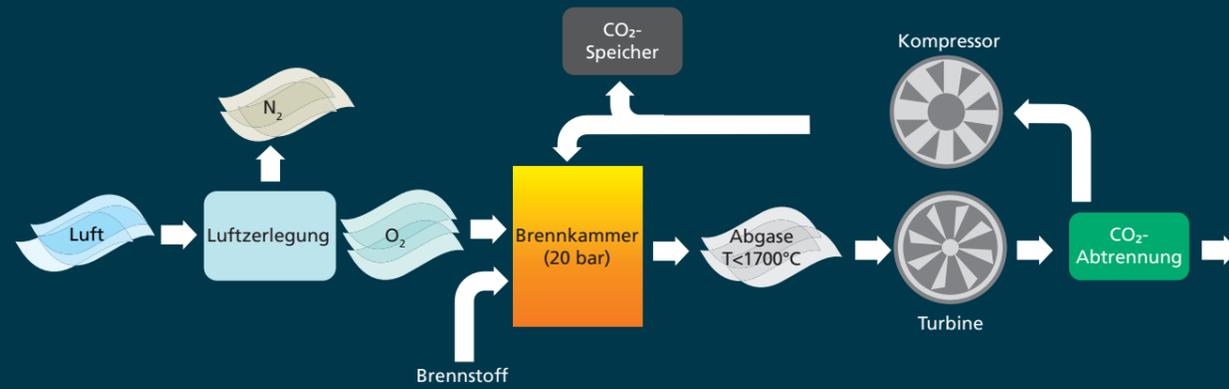
Selbst bei einem rasanten Aufbau von Windparks in der Nordsee und steigender Energieeffizienz wird auf Jahrzehnte eine große Lücke zwischen Erzeugung von Ökostrom und tatsächlichem Bedarf klaffen. Kohle- und Gaskraftwerke können und werden diese füllen müssen. Zugleich verfolgt Deutschland ehrgeizige Klimaziele. Schon in neun Jahren sollen EU-weit mindestens 20 Prozent weniger vom Treibhausgas Kohlendioxid (CO₂) emittiert werden als im Vergleichsjahr 1990. Für 2050 wird sogar eine Reduktion um die Hälfte als notwendige Maßnahme gegen die globale Erwärmung diskutiert. Diese Ziele scheinen auf den ersten Blick im krassen Widerspruch zum Bau neuer Kohle- und Gaskraftwerke zu stehen. Doch das sehen Dr. Peter Kutne und Dr. Wolfgang Meier vom DLR-Institut für Verbrennungstechnik in Stuttgart anders. Sie forschen an einer Schlüsseltechnologie, um fossil befeuerte Kraftwerke klimafreundlicher betreiben zu können.

Verbrennung mit purem Sauerstoff

„Ein mögliches Verfahren für ein klimafreundliches Kohle- oder Gaskraftwerk ist die Abtrennung des CO₂ aus dem Abgas“, sagt Kutne. Tatsächlich werden weltweit viele Methoden für das Herausfiltern des Treibhausgases nach dem Verfeuern der Brennstoffe getestet. Spezielle Membranen oder organische Verbindungen können CO₂ entweder herausfiltern oder separat auffangen. Wirtschaftlich arbeitet aber noch kein einziges Kraftwerk mit dieser Technologie und der Filter-Aufwand für CO₂ ist sehr hoch. Denn die Abgase enthalten zudem vor allem bis zu 75 Prozent Stickstoff. Riesige Abgasmengen müssen also behandelt werden. „Daher liegt die Idee nahe, den Stickstoff noch vor der Verbrennung aus der Luft abzutrennen“, erläutert Kutne.

Im Idealfall werden Gas oder Kohle dann nur noch unter der Zufuhr von reinem Sauerstoff verbrannt. „Das Ziel ist dabei die sogenannte stöchiometrische Verfeuerung der Brennstoffe“, führt Kutne aus. Das heißt, dass nur genau so viel Sauerstoff in eine Brennkammer eingeblasen werden darf, wie für die vollständige Verbrennung von Gas oder Kohle notwendig ist. Das Abgas besteht danach nur noch aus Kohlendioxid und Wasser.

Tobias Rapp bereitet den Oxyfuel-Prüfstand im DLR Stuttgart für einen Versuch vor. Dazu prüft seine Kollegin Martina Hohloch die Funktionsfähigkeit der Thermoelemente.



Schema einer Oxyfuel-Gasturbine

Letzteres ließe sich durch Abkühlen und Kondensation relativ leicht abtrennen. Über diese effiziente Trocknung des Abgases bliebe ohne aufwändige Gaswäsche nur noch CO₂ zurück. Dieses Gas soll danach laut den Plänen der zum Thema CCS (Carbon Capture and Storage) forschenden Wissenschaftler sicher im Erdboden gespeichert werden. So ließe sich dem Kohlendioxid dauerhaft der klimaschädigende Weg in die Atmosphäre versperren.

Unter dem Begriff „Oxycoal“ wird diese Technologie in einem Kohle-Pilotkraftwerk in Brandenburg bereits erfolgreich getestet. „Aber die Nutzung in effizienteren Gasturbinen ist bisher wenig erforscht“, sagt Kutne. Wegen hoher Entwicklungskosten scheut sich die Industrie, auf diesem Gebiet zu forschen und sich dieses Wissen selbst zu erarbeiten. Genau für dieses weiter reichende „Oxyfuel“-Verfahren legen daher die Stuttgarter Verbrennungstechniker wichtige Grundlagen. Ihr Ziel: ein technisch beherrschbarer Prozess, der auf möglichst wirtschaftliche Weise Strom aus der Verbrennung von Gas liefert. Erste, vielversprechende Ergebnisse konnten die Forscher im Rahmen des von der norwegischen Regierung unterstützten Projekts BIGCO₂ (Laufzeit: 2007-2011) und zusammen mit der norwegischen Forschungsorganisation SINTEF gewinnen.

Kohlendioxid kann Brennerhitze senken

Damit stellen sich die DLR-Forscher einer großen Herausforderung. Denn im Unterschied zum Verbrennen von Kohle in einem Dampfkraftwerk herrschen in einer Gasturbine viel höhere Drücke und damit viel höhere Wärmebelastungen. Mit speziellen Metalllegierungen und aufwändigen Keramikbeschichtungen halten beispielsweise die Turbinenschaufeln in Gasturbinen einer Hitze von bis zu 1.700 Grad Celsius stand. Wird das Gas allerdings nicht mit komprimierter Luft, sondern mit reinem Sauerstoff verbrannt, schnellen die Temperaturen auf weit über 2.000 Grad nach oben. „Das machen die heute verfügbaren Werkstoffe nicht mit“, weiß Dr. Wolfgang Meier. Daher suchte er zusammen mit seinem Kollegen Peter Kutne nach einer effizienten Kühlmethode.

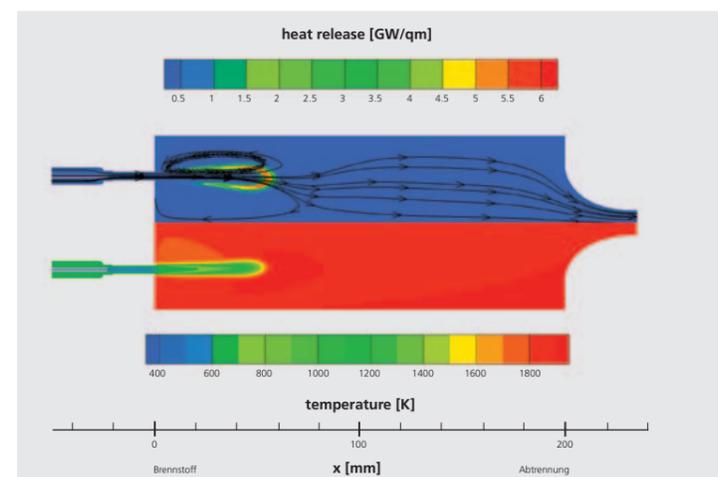
„Wir verdünnen dazu den reinen Sauerstoff mit rezirkuliertem Kohlendioxid aus den Abgasen“, erklärt Kutne. Da CO₂ relativ viel Wärme aufnehmen kann, lässt sich so die Temperatur in der Gasturbine je nach CO₂-Menge um mehrere hundert Grad senken. Aber die Zufuhr von kühlendem CO₂ hat auch Auswirkungen auf den Brennprozess. Wie groß der Einfluss auf die Verbrennungseigenschaften ist, lässt sich am Beispiel der Flammgeschwindigkeit einer Methanflamme zeigen. Methan ist mit 75 bis 99 Prozent der Hauptbestandteil von Erdgas, das in Gasturbinen-Kraftwerken für die Stromgewinnung genutzt wird. „Aber wir dürfen nicht zuviel CO₂ beimischen, weil sonst die Flammgeschwindigkeit zu gering wird“, sagt Meier. Bei einem Anteil von 70 Prozent CO₂ wäre die Flammgeschwindigkeit nur noch etwa halb so groß wie die einer vergleichbaren

Luft-Methan-Mischung. Die Folge wäre ein unerwünschter Abfall des Wirkungsgrads des Gaskraftwerks, da der Brennstoff nur noch unvollständig verbrannt würde.

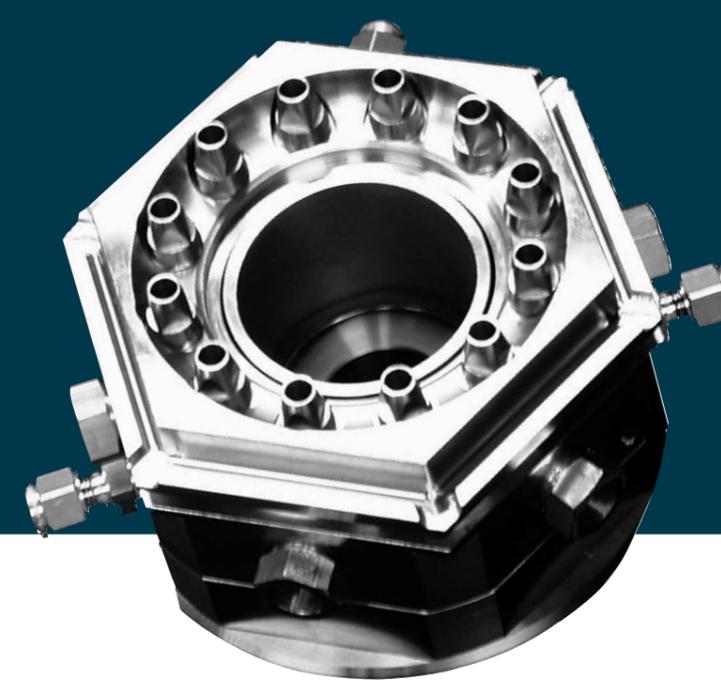
Um das beste Mischungsverhältnis von Sauerstoff, Kohlendioxid und Methan ermitteln zu können, beobachten Kutne und Meier die Ausbreitung von Flammen in verkleinerten Gasturbinenbrennern. Mit speziellen Lasermethoden können sie die Geschwindigkeit der Flammen und ihr Strömungsverhalten genau analysieren. Ein Anteil von 70 Prozent CO₂ reichte aus, um ein ähnliches Brennverhalten wie bei einer klassischen Verfeuerung mit Luft zu erhalten. So stabil Zündverhalten und Flammenform aber auch waren, so stiegen die Temperaturen doch immer noch über den angepeilten Grenzwert von 1.700 Grad. Noch mehr kühlendes CO₂ müsste also zum Sauerstoff für die Verbrennung zugefügt werden.

Mit Computersimulationen zur perfekten Brennkammer

„Selbst bei erhöhtem Druck und zusätzlicher Vorheizung konnten wir bisher eine notwendige CO₂-Konzentration von 80 Prozent nicht realisieren“, sagt Kutne. Für eine Lösung dieses Problems führen die Forscher nun – begleitend zu ihren Verbrennungsversuchen – aufwändige Computersimulationen durch. Einfacher und schneller können sie am Rechner so beispielsweise das Design der Brennkammer oder die Zuflüsse von Erdgas, Sauerstoff und CO₂ variieren. „Mittlerweile gehen Experimente



FLOX®-Brenner-Simulation: Auch bei einem Kohlendioxid-Anteil von 80 Prozent zeigt sich die Verbrennungszone noch stabil (im oberen Teil des Bildes dargestellt anhand der freigesetzten Wärme). Die schwarzen Strömungslinien deuten die Rezirkulation des Gases an. Der untere Teil des Bildes zeigt die Temperatur in der Brennkammer. Sie beträgt am Austritt etwa 1.650 Grad Celsius.



FLOX®-Brenner: Durch einen Ring kleiner Düsen wird das Gasgemisch in die Brennkammer geblasen

und Simulationen auf dem Computer Hand in Hand“, berichtet Meier. Ideen aus den Computermodellen fließen dabei Stück für Stück in das reale Experiment ein. Umgekehrt können die Simulationen mit den Messwerten weiter verfeinert werden.

„Auf der Basis all dieser Daten haben wir ein anderes Brennerkonzept gefunden, das für die Oxyfuel-Verbrennung besser geeignet sein könnte“, berichtet Kutne. Es basiert auf dem bereits patentierten FLOX®-Konzept, das schon seit mehreren Jahren im Institut für Verbrennungstechnik für unterschiedlichste Brennstoffe entwickelt wird. Der Unterschied zu klassischen Brennern: Das Gemisch aus Methan, Sauerstoff und Kohlendioxid wird durch einen Ring kleiner Düsen mit hoher Geschwindigkeit in die Brennkammer eingeblasen. Bei Strömungsgeschwindigkeiten von bis zu 100 Metern pro Sekunde verwirbeln die Gase so sehr (Rezirkulation), dass sie deutlich länger in der Brennkammer verbleiben als bei bisher genutzten, sogenannten Drallbrennern. Dadurch kann ein stabileres Verbrennungsverhalten erzielt werden. Erste Computersimulationen belegten bereits, dass auf diese Weise selbst bei einer gewünschten CO₂-Konzentration von 80 Prozent der Brennprozess stabil bleibt und kein Methan unverbrannt zurückgelassen wird. Schon in Kürze wollen Kutne und Meier nun diese Vorhersagen auch im Experiment überprüfen.

Gelingt dieser Schritt, lockt ein hoch effizientes Oxyfuel-Verfahren, das zugleich die komplette Abscheidung des Treibhausgases Kohlendioxid ermöglichen soll. „Nutznießer von dieser Entwicklung könnte die europäische Industrie sein“, sagt Meier. Erste Pilotkraftwerke mit optimierten Oxyfuel-Gasturbinen wären damit in einigen Jahren vorstellbar.

Bis dahin könnte auch eine weitere offene Frage auf dem Weg zu klimafreundlichen Kohle- und Gaskraftwerken gelöst sein. Denn das aus den Abgasen abgetrennte Kohlendioxid muss dauerhaft, sicher und unwiederbringlich gespeichert werden können. Denn sollte es selbst nach Jahrzehnten oder Jahrhunderten beispielsweise aus Speichern tief im Erdboden wieder in die Atmosphäre gelangen, wäre zwar uns, nicht aber den nachfolgenden Generationen geholfen. Ob der Untergrund tatsächlich als CO₂-Speicher geeignet ist, überprüfen derzeit deutsche Wissenschaftler unter Federführung des GeoForschungs-Zentrums Potsdam.

Im brandenburgischen Ketzin, 40 Kilometer westlich von Berlin, bohrten die Geowissenschaftler dazu bis zu 800 Meter tief in den Boden. Dabei erreichten sie eine poröse Sandsteinschicht, in die das CO₂ aus fossil befeuerten Kraftwerken gepumpt werden kann. Seit Beginn des Testbetriebs im Sommer

2008 strömten bereits über 50.000 Tonnen CO₂ – aufgeheizt auf 35 Grad und mit 60 bar Druck komprimiert – in die Tiefe. Seitdem breitet sich das Treibhausgas in einer Gesteinsformation in etwa 630 Meter Tiefe aus. Eine mächtige Deckschicht aus Ton hindert es daran, wieder an die Oberfläche und damit in die Atmosphäre zu gelangen.

Sind CO₂-Speicher im Untergrund sicher?

Ob dieser Untergrundspeicher tatsächlich dicht ist, testen die Forscher permanent mit einem Netz aus Gassensoren. Über zwei weitere Bohrungen und mit seismischen sowie geoelektrischen Methoden kontrollieren sie fortwährend, wie sich das Kohlendioxid entlang der Sandsteinschichten ausbreitet. Bisher konnten die Forscher kein Leck ausmachen. Doch verlässliche Daten über die Sicherheit dieser Speicheremethode werden erst nach dem Abschluss dieses Projekts (CO₂MAN – CO₂-Reservoirmanagement) im August 2013 erwartet.

Bis im großen Maßstab CO₂ aus Kohle- und Gaskraftwerken in den Untergrund gepumpt wird, werden noch viele Jahre vergehen. Die geschätzte Speicherkapazität allein in Deutschland ist mit etwa 20 Milliarden Tonnen CO₂ relativ groß. Denn diese Menge Treibhausgas emittiert der gesamte deutsche Kraftwerkspark in einem Zeitraum von bis zu 60 Jahren. Rechtlich gesichert ist diese angedachte CO₂-Speicherung bisher noch nicht. So diskutieren derzeit die Regierungen von Bund und Ländern um die Formulierung eines CCS-Gesetzes. Vor allem den nördlichen Bundesländern mit den besten geologischen Bedingungen für einen CO₂-Speicher fehlt es noch an Daten, um Chancen und Risiken dieser Technologie gut einschätzen zu können.

Um den Strombedarf, selbst wenn er nicht weiter wachsen sollte, mit den anvisierten CO₂-Reduktionszielen in Einklang zu bringen, wird es bis zum deutlichen Ausbau von Wind-, Wasser- und Solarkraftwerken kaum Alternativen zur CCS-Technologie geben. „Und unsere Brenner-Entwicklungen könnten einen weiteren Weg eröffnen, die CO₂-Emissionen in den kommenden Jahrzehnten zu senken und damit einen Beitrag zum Klimaschutz leisten“, ist Peter Kutne überzeugt. ●

Autor:

Jan Oliver Löffken ist Physiker und freier Autor aus Hamburg. Die Leserinnen und Leser der DLR-Internetseiten kennen ihn vom DLR-Energieblog, wo er 2010 regelmäßig die Energiefrage der Woche beantwortet hat.

Weitere Informationen:

www.DLR.de/VT



360 Grad der Sonne nach

In jedem beliebigen Winkel zur Sonne können die Energieforscher vom DLR-Institut für Solarforschung in Zukunft Parabolspiegel testen. Der Prüfstand Kontas (Konzentrator-Teststand Almería Spanien) steht auf kreisförmigen Stahlschienen, auf denen sich ein bis zu 20 Meter langer Parabolrinnen-Kollektor um fast 360 Grad um die eigene Achse drehen kann. Damit verfügen die Forscher am DLR-Test- und Qualifizierungszentrum QUARZ über einen weiteren Prüfstand, um Spiegel und Absorberrohre von solarthermischen Kraftwerken auf Herz und Nieren zu testen. Die DLR-Energieforscher haben auf diesem Gebiet international anerkannte Qualitätsstandards und eigene Messverfahren entwickelt.

Qualitätsstandards für effizientere Solarkraftwerke

Von Dorothee Bürkle



Oben: Drehbarer Prüfstand Kontas auf der Plataforma Solar de Almería
Unten: Die Reflexionseigenschaften eines Parabolspiegels für ein Solarkraftwerk werden vermessen

„Unsere unabhängige Qualitätsprüfung wird von etablierten Unternehmen genauso wie von Newcomern angenommen. Mit den im DLR entwickelten Qualitätsstandards und unserer Erfahrung können wir die Unternehmen beraten, wie sie bessere Produkte auf den Markt bringen können“, beschreibt Björn Schiricke vom DLR-Institut für Solarforschung die Leistung, die das 2009 am DLR-Standort Köln gegründete QUARZ-Testlabor anbietet. Zu den Unternehmen, die ihre Produkte beim DLR auf den Prüfstand stellen, gehören unter anderen Siemens CSP, Schott Solar und Flabeg. Mit dem Prüfstand Kontas auf der Plataforma Solar de Almería (PSA) haben die Forscher ihre Kompetenz und ihre Möglichkeiten beim Test von Solarkraftwerken noch weiter ausgebaut.

Konkret testen die DLR-Wissenschaftler im QUARZ, wie gut die Parabolspiegel die Strahlen der Sonne reflektieren und auf einen Punkt konzentrieren können. Dabei kommt es sowohl auf die Reflexionseigenschaften der Spiegel als auch auf deren Form an. Zudem untersuchen sie, wie gut die Spiegel Wettereinflüssen im Langzeitbetrieb standhalten können. Bei den Absorberrohren – das sind die im Brennpunkt des Spiegels angebrachten Rohre, die die gebündelte Sonnenenergie in Wärme umwandeln –, wird die Effizienz dieser Umwandlung geprüft. Dabei testen die Forscher in einem zerstörungsfreien Verfahren den thermischen Verlust und den optischen Wirkungsgrad der Rohre.

Wichtige Unterstützung auf dem Weg in den Markt

Durch diese Qualitätsstandards sinken die finanziellen und technischen Risiken für Investoren und Unternehmen beim Bau von solarthermischen Kraftwerken und bei der Einführung neuer Komponenten. „Durch unsere Qualitätsstandards können wir den Markteintritt beschleunigen und Innovationen schneller zur Marktreife bringen. Banken brauchen verlässliche Daten über die Funktion der Anlagen, damit sie in die Technologie investieren“, fasst Schiricke zusammen.

Das Bundesumweltministerium hat den Aufbau des Labors mit 2,25 Millionen Euro unterstützt, eine Ausgründung aus dem Projekt hat sich erfolgreich am Markt etabliert. International kooperiert das DLR auf diesem Gebiet mit dem amerikanischen Energieforschungszentrum NREL (National Renewable Energy Laboratory) und dem spanischen Energieforschungszentrum CIEMAT (Centro de Investigaciones Energéticas). ●

Prüfstand mit Lampen: Mit simuliertem Sonnenlicht testen DLR-Forscher, wie gut Absorberrohre Licht in Wärme umwandeln

Weitere Informationen:
www.DLR.de/SF

Alles fest im Griff

Flugzeuge können durch den Einsatz von Faserverbundmaterial leichter gebaut werden. Dies bedeutet weniger Kraftstoffverbrauch, das wiederum schont die Umwelt. Doch auf dem Weg zur breiteren Nutzung von faserverstärkten Leichtbauteilen liegen Hürden: Die Fertigungsprozesse von Faserverbundbauteilen sind noch sehr stark von Manufaktur geprägt. Dies ist mit hohen Personalkosten und Zeitaufwand sowie mit hohem Fehlerrisiko verbunden. Aus diesem Grund wird am Zentrum für Leichtbauproduktionstechnologie (ZLP) in Augsburg an Produktionsverfahren zur automatisierten Herstellung von Großbauteilen aus kohlenstofffaserverstärkten Kunststoffen geforscht.

Im Zentrum für Leichtbauproduktionstechnologie legen Roboter im Duo Hand an die Faserzuschnitte

Von Georg Braun

Für die automatisierte Fertigung von Bauteilen aus Faserverbundwerkstoffen sind mehrere Prozessschritte zu untersuchen: Da ist zunächst das Einlegen der Faserhalbzeuge in die Form, dann ihr Infiltrieren mit dem Harz und als drittes das Aushärten des Harzsystems beziehungsweise das Abkühlen im Fall thermoplastischer Werkstoffe. Schon wenn es gelingt, einen dieser Teilschritte zu automatisieren, lassen sich die Stückkosten bei der Produktherstellung deutlich senken.

Einer der Knackpunkte im Fertigungsprozess liegt darin, die trockenen Kohlenstofffaserzuschnitte in die Form einzubringen. Da diese Textilien im Rohzustand sehr empfindlich sind, muss die Handhabung äußerst schonend erfolgen. Die Wissenschaftler am ZLP untersuchten dafür verschiedene Verfahren, wie das Greifen mittels Vakuumsauger, Nadelgreifer oder sogenannte Bernoulli-Greifer. Das Greifen mittels Vakuumsauger stellte sich als die beste Variante heraus. Anschließend wurde ein Greifer für den Einsatz am Roboter entwickelt. Mit ihm lassen sich die Halbzeuge mit ihren unterschiedlichen Geometrien und Materialeigenschaften flexibel handhaben.

Bei Schalenkonstruktionen von zukünftigen Flugzeuggenerationen will man möglichst wenige Einzelteile verwenden, um zusätzliche Fügestellen zu vermeiden. Zudem kann durch die Handhabung großer Zuschnitte mehr Fasermaterial pro Stunde in der Form platziert werden, was den Prozess wirtschaftlicher macht. Die Faserzuschnitte erreichen hier jedoch Größenordnungen, bei denen die größten industriellen Roboter an Grenzen stoßen. Um solche großen Zuschnitte automatisiert zu handhaben, kamen die Forscher in Augsburg auf die Idee, die Roboter im Team zusammenarbeiten zu lassen, ähnlich wie es in der Automobilfertigung schon praktiziert wird. Dort hält beispielsweise ein Roboter ein Teil einer Motorhaube und der andere trägt mit einer Klebepistole den Klebstoff auf.

Die im Gegensatz hierzu hochgenaue Handhabung und Ablage von großflächigen Faserhalbzeugen durch zwei Roboter lässt sich vergleichen mit dem gemeinsamen Ablegen eines Tischtuchs durch zwei Personen. Im Fall der Faserhalbzeuge rüsten die DLR-Ingenieure jeden Roboter mit einem eigenen, flexiblen und kompakten Vakuumbreifer aus. Während des Prozesses werden die Bewegungen der Robotergreifer genau auf die Randbedingungen (Materialeigenschaften, Kontur der Form etc.) abgestimmt: So wird jedwede Veränderung oder Beschädigung des Geleges bzw. Gewebes verhindert. Dazu muss man aller-

dings das Materialverhalten genauestens kennen. Eine weitere Herausforderung liegt im Bereich der Greif- und Bahnplanung: Die Bewegungsbahn muss einen beschädigungsfreien Transport des Fasermaterials von der Aufnahme bis zur Ablage gewährleisten. Hier sind noch intensive Forschungsarbeiten erforderlich, um das Ziel einer (teil-)automatisierten Fertigung zu erreichen. ●



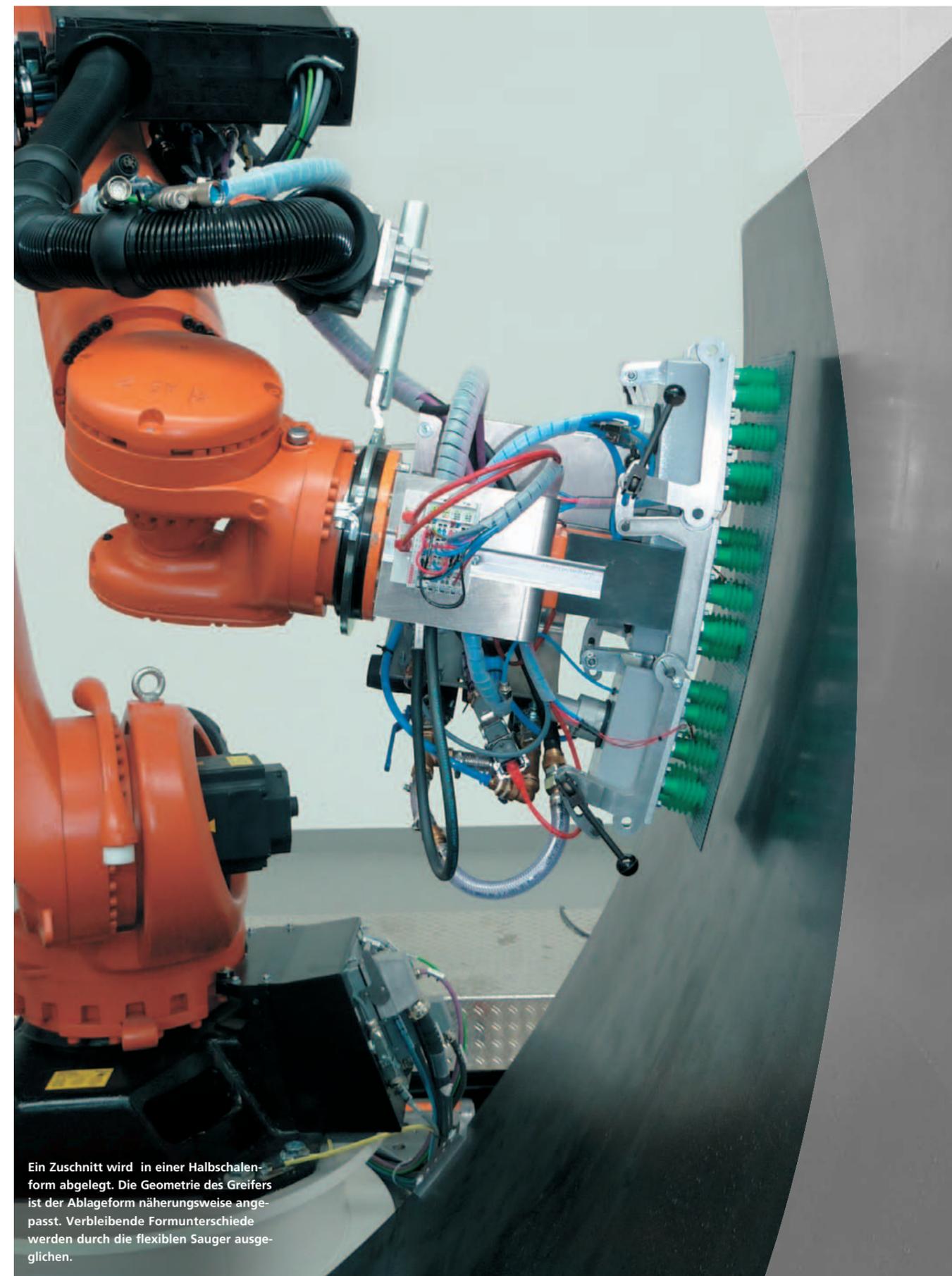
Großflächige Zuschnitte können nicht mehr sinnvoll automatisiert von einem einzelnen Roboter mit Greifer gehandhabt werden. Die dafür benötigten Einzelgreifer sind sehr schwer, weisen große Abmessungen auf und sind unhandlich.

Autor:

Georg Braun ist Fachmann für Konstruktion und Entwicklung im Bereich des Maschinen- und Anlagenbaus. Im Zentrum für Leichtbauproduktionstechnologie in Augsburg prüft und überwacht er die mechanischen Anlagenkonstruktionen und ist zuständig für die wissenschaftliche Entwicklung von industrialisierbaren Greifern.

Weitere Informationen:

<http://s.DLR.de/wf7m>



Ein Zuschnitt wird in einer Halbschalenform abgelegt. Die Geometrie des Greifers ist der Ablageform näherungsweise angepasst. Verbleibende Formunterschiede werden durch die flexiblen Sauger ausgeglichen.



Und täglich grüßt der Pinguin

Ein Backofen in der Küche, Tisch und Stühle wie aus einem schwedischen Möbelhaus, DVD-Player und Couch im Wohnzimmer – an dieser Wohnungseinrichtung wäre nichts ungewöhnlich, wenn sie nicht an einem der abgelegensten Orte der Welt in Gebrauch wäre: Seit 20 Jahren trotz die deutsche Antarktisstation O'Higgins des DLR den Temperaturen und dem Wind auf der Antarktischen Halbinsel Peninsula Schmidt. Vor der Tür: eine 9-Meter-Antenne für den Empfang von Satellitendaten. Im Inneren der Station: ein kleines Team aus Ingenieuren des Deutschen Fernerkundungsdatenzentrums des DLR, Mitarbeitern vom Bundesamt für Kartographie und Geodäsie sowie vom chilenischen Partner Servimet.

20 Jahre DLR-Antarktisstation GARS O'Higgins

Von Manuela Braun

Das DLR ist Eigentümer der Antarktisstation GARS O'Higgins (German Antarctic Receiving Station) und verantwortlich für den Satellitenbetrieb, das Management, die Infrastruktur und die Logistik. Aktuell empfängt die Antenne der Station die Daten der Radarsatelliten TerraSAR-X und TanDEM-X, für spezielle Anwendungen und in Notfällen wird das O'Higgins-Team auch für die Satelliten GRACE1 und GRACE2 aktiv. Derzeit bereitet sich das DLR auf die Startunterstützung der kanadischen Mission NEOSAT vor. Das Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG) nutzt die DLR-Antenne als Radioteleskop für radioastronomische Beobachtungen.

Die 9-Meter-Antenne an der Antarktisstation O'Higgins arbeitet selbst bei extremem Wind. Ihr Sockel ist bei den Pinguinen sehr beliebt; dort finden sie Schutz vor den eisigen Windstößen.

Es sind nicht unbedingt die Minusgrade, die den Forschern das Leben und die Arbeit auf GARS O'Higgins, der German Antarctic Receiving Station, erschweren. Stationsmanager Robert Metzger winkt ab. Im Südwinter, zwischen Juni und September, seien es im schlimmsten Fall gerade einmal minus 20 Grad Celsius. Im Sommer auf der Südhalbkugel steigen die Temperaturen sogar bis auf plus fünf Grad – dann erleben die Ingenieure auch schon mal Regen in der Antarktis. „Viel schlimmer ist der Wind.“ Der kann bei Sturmböen mit respekteinflößenden 180 Kilometern in der Stunde über die 35 miteinander verbundenen Container der O'Higgins-Station rasen, bei heftigen Stürmen sind es auch schon mal 250 km/h. „Schon bei Windgeschwindigkeiten von 150 Stundenkilometern fliegt man weg, wenn man vor die Tür geht“, erzählt der Stationsmanager, der regelmäßig in der Antarktis arbeitet. Fegen die katabatischen Stürme über die Station, die Fallwinde, die sich auf ihrem Weg aus dem Inneren der Antarktischen Halbinsel über dem Gletscher abkühlen, bleibt die Mannschaft besser in ihren Containern. Dann sind auch die Pinguine vor der Haustür der Forschungsstation glücklich, dass die Satellitenschüssel des DLR ein Fundament aus Beton benötigt – dicht gedrängt suchen sie dann Schutz im Windschatten des Betonklotzes.

Unbekannter Kontinent Antarktis

1991 wurde die deutsche Station gegründet. Mann der ersten Stunde und erster Stationsdirektor war Klaus Reiniger. GARS O'Higgins sollte Daten des europäischen Erdbeobachtungssatelliten ERS-1 empfangen. Der Satellit selbst hatte schlichtweg zu wenig Speicherplatz an Bord, um die aufgezeichneten Daten bis zur nächsten Empfangsstation zwischenspeichern. Als Standort bot sich eine kleine Halbinsel in der Antarktis an: Zum einen hatte die Peninsula Schmidt einen felsigen und somit festen Untergrund für Station und Antenne, zum anderen hatten



Beim Anflug auf O'Higgins fallen zunächst die roten Gebäude der chilenischen Antarktisstation auf – die Station des DLR und seine Antenne sind weiß und hinter der chilenischen Station aus der Luft nur schwer zu erkennen

die Chilenen mit ihrer benachbarten Station General Bernardo O'Higgins bereits eine Infrastruktur aufgebaut, mit der unter anderem Mannschaft, Treibstoff und Lebensmittel in die Antarktis transportiert werden konnten. Ein weiterer Vorteil: Mit der DLR-Empfangsstation in der Antarktis gab es im Zusammenspiel mit der amerikanischen Station McMurdo und der japanischen Station Syowa erstmals die Möglichkeit, die Antarktis selbst per Satellit in ihrer Gesamtheit abzudecken. „Die Antarktis war vor 20 Jahren noch ein unbekannter Kontinent“, sagt Stationsmanager Robert Metzsig. Zum ersten Mal konnte die Bewegung des Eises, seine Dynamik, aus dem Weltall beobachtet werden. Eine Herausforderung war die Konstruktion der Empfangsantenne, die selbst bei enormen Windstärken noch exakt ausgerichtet bleiben und dem Satelliten im Überflug folgen muss. Ohne äußerlich sichtbare Verstrebungen gebaut und mit einer möglichst windschlüpfrigen Form, die Luftverwirbelungen minimiert, funktioniert die Antenne selbst noch bei Windgeschwindigkeiten bis zu 180 Kilometer in der Stunde. „Die Antenne ist weltweit ein Unikat“, sagt Metzsig stolz. „Nur bei ex-trem starken Stürmen fahren wir die Schüssel in eine Überlebensposition, ansonsten bleibt sie kontinuierlich in Betrieb.“

365 Tage im Jahr, 24 Stunden am Tag ist die Polarstation mit insgesamt vier Personen, zwei Ingenieuren des DLR und zwei chilenischen Kollegen, besetzt. In den Neunzigerjahren war

das noch anders: Lediglich im Antarktissommer von Oktober bis März waren Teams vor Ort. Mit dem ERS-2-Satelliten und dem deutschen Radarsatelliten TerraSAR-X kamen zwar weitere Aufgaben auf die DLR-Station zu, im Antarktiswinter wurde die Station jedoch geschlossen. Seit Januar 2010 ist das anders: Die Vorbereitungen für die TanDEM-X-Mission, bei der zwei Radarsatelliten im Formationsflug um die Erde kreisen und ein dreidimensionales Höhenmodell der gesamten Erdoberfläche erstellen, begannen. Seitdem sind das gesamte Jahr über jeweils zwei DLR-Ingenieure des O'Higgins-Teams in der Antarktis, überwachen den Datenempfang, senden Kommandos des Deutschen Raumfahrt-Kontrollzentrums in Oberpfaffenhofen an die Satelliten und leiten die Informationen, die die Satelliten zur Erde funken, an das Kontrollzentrum weiter. Die Station hat mit dieser Erdbeobachtungsmission noch an Bedeutung gewonnen. „Für den Formationsflug der beiden Radarsatelliten ist es sehr wichtig, regelmäßig, das heißt alle anderthalb Stunden, Kontakt zu den Satelliten zu haben“, sagt Robert Metzsig.

Abenteuer Anreise

Andere Empfangsstationen können im Bedarfsfall ihr Personal kurzfristig vor Ort bringen, in der Antarktis ist das nicht so einfach. Wer anreist, muss zunächst einmal bis Punta Arenas auf dem chilenischen Festland gelangen. Von dort geht es mit einer

„Hercules“ der chilenischen oder brasilianischen Luftwaffe zur vorgelagerten Insel King George Island. Das letzte Wegstück wird mit einer „Twin Otter“, einem Flugzeug mit Kufen, durchgeführt. Für die Landung auf dem Gletscher oberhalb der O'Higgins-Station bereiten die chilenischen Nachbarn dann eine Lande- und Startpiste im Schnee vor. Allerdings: Bei schlechtem Wetter nutzt kein Transportmittel etwas – dann bestimmt die Natur, wann eine Anreise überhaupt möglich ist. In seltenen Fällen reist das Team auch per Schiff von Punta Arenas über die Drake Passage an – eine stürmische Reiseroute, bei der die Ingenieure zuweilen mit der Seekrankheit zu kämpfen haben. Im Südwinter ist es aber oftmals schwierig, die Schichtarbeiter der Polarstation zu und von ihrem Arbeitsplatz zurückzubefördern. Ver-

schiebt sich ein Flug, bedeutet das für die Mannschaft der Polarstation vor allem eines: Ausharren. Die Männer müssen dann schon mal drei bis vier Monate auf O'Higgins bleiben.

Neben dem Stationsdirektor Erhard Diedrich und dem Logistik-Manager Marcelo Morais gehören neun Mitglieder zum O'Higgins-Team am Deutschen Fernerkundungsdatenzentrum und wechseln sich mit ihren Antarktis-Einsätzen ab. Der Usbeke Ruslan Artemenko, der Franzose Pierre Lagadrilliere, der Schwede Ulf Lindh, der Kirgise Alexander Scherbachenko und die Deutschen Ralf Reissig, Michael Specht, Werner Ziegltrum, Alfons Zimmer und Robert Metzsig – das Team ist international und bleibt O'Higgins über Jahre hinweg treu. Alfons Zimmer, ehemals der



Mit einer „Twin Otter“ der chilenischen Luftwaffe wird das Team von O'Higgins bis zum Gletscher nahe der Station geflogen. Die letzten Kilometer bis zu ihrem Arbeitsplatz geht es per Motorschlitten. Bei schlechtem Wetter müssen die Wissenschaftler Geduld beweisen – denn nur bei guten Bedingungen sind die Flüge möglich.



Ein gemeinsames Essen mit den chilenischen Kollegen ist das Highlight für das Team der DLR-Antarktisstation. In der Isolation ist Geselligkeit wichtig.



Das O'Higgins-Team überwacht an 365 Tagen im Jahr den Empfang von Satellitendaten. Zu seinen Aufgaben gehört aber auch, Kommandos des Raumfahrt-Kontrollzentrums in Oberpfaffenhofen an die Satelliten im Weltall zu senden.

Stationsmanager, beispielsweise hat in den vergangenen 20 Jahren insgesamt vier Jahre auf der Polarstation verbracht. Einfach sei die Arbeit nicht, sagt Metzsig. Wenn man monatelang am anderen Ende der Welt bei Pinguinen und Robben eine Antenne überwacht, ist der Kontakt zu Familie und Freunden auf Telefon und Internet beschränkt. „Immerhin aber haben wir die Möglichkeit, Kontakt zu halten.“

Forscher, Hausmeister und Koch in einem

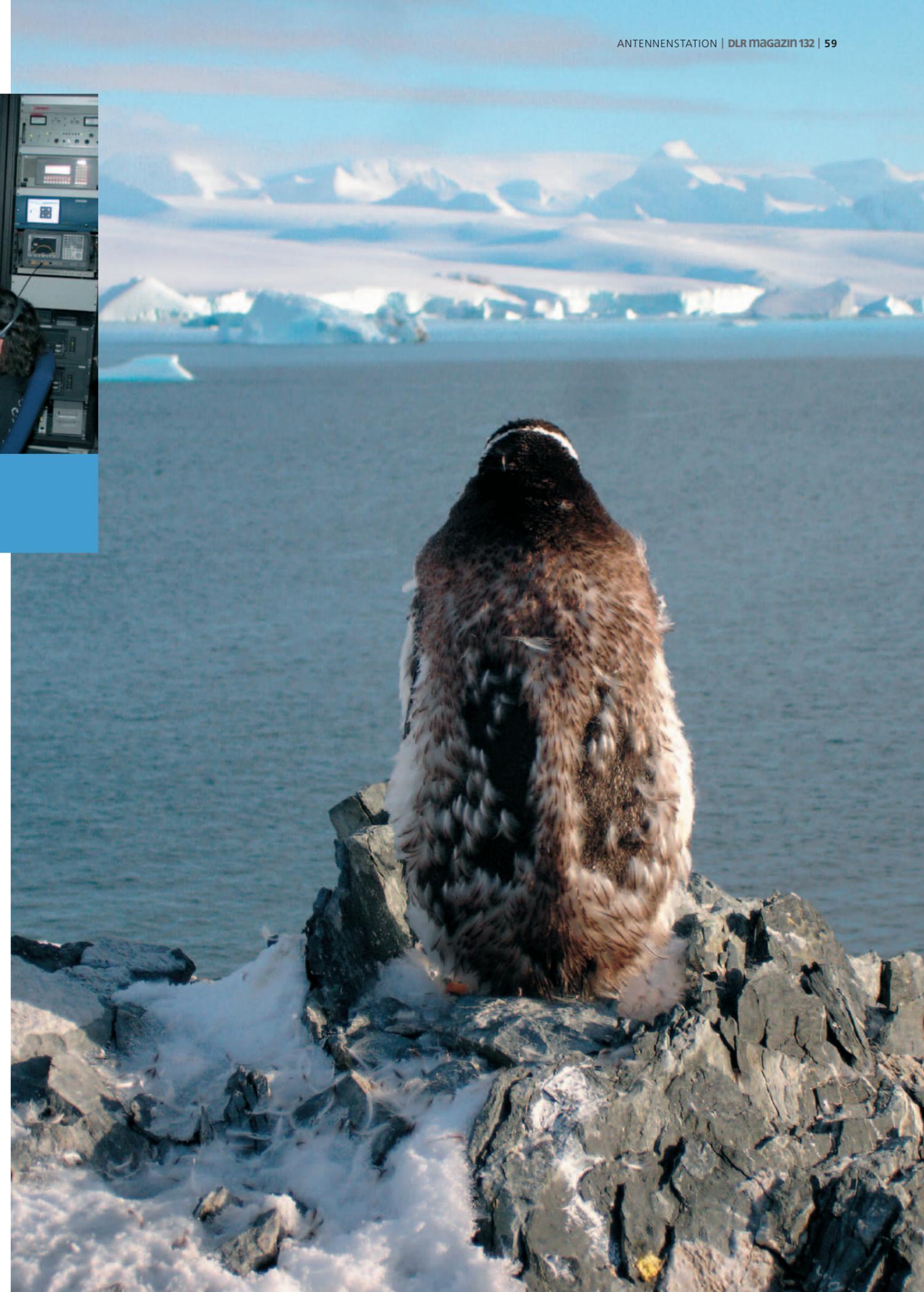
In der Antarktis sind die Ingenieure nicht nur Ingenieure. Sie sind Köche, Schneeräumer oder auch Antennenputzer, wenn sich das Meersalz als Kruste auf der Schüssel ablagert. Die Station ist autark, hat eine eigene Stromversorgung mit Dieselgeneratoren, bereitet Salzwasser zu Süßwasser auf, hat eine eigene biologische Kläranlage. Robert Metzsig zeigt die Fotos, die er von seinen Aufenthalten auf O'Higgins hat. Fast vergisst man, dass rund um die einfache Küche mit ihrem gedeckten Tisch der Hausberg Mont Jacquinot, Gletscher und das Meeris liegen. Im Vorratsregal stapeln sich Konserven, haltbare Lebensmittel und Trinkwasser, die ein chinesisches Schiff zur Station bringt. Frisches gibt es immer nur dann, wenn die nächste Mannschaft zum Schichtwechsel anrückt und ihre Supermarkteinkäufe aus Punta Arenas auspackt. Salat. Obst. All das, was die Mitarbeiter vor Ort in den letzten Wochen vermisst haben.

Das Arbeitspensum ist umfangreich, die Freizeit knapp bemessen. „Das ist auch gut so, denn dann hat man auch keine Zeit, grüblerisch zu werden“, sagt der Stationsmanager. Die Männer sind während ihres Aufenthalts als Zweiertteams auf O'Higgins auf engstem Raum aufeinander angewiesen. Mit 15 miteinander verbundenen Containern ist das Stationshauptgebäude nicht übermäßig groß. Die Halbinsel selbst ist gerade einmal 300 Meter breit und 200 Meter lang. Spaziergänge in der Umgebung sind nicht ungefährlich – „das geht entweder nur

mit Funkgerät oder zu zweit.“ Verdeckte Spalten im Eis könnten aus einem Spaziergang schnell einen gefährlichen Ausflug machen. Abwechslung bietet zumindest ein Besuch der chilenischen Nachbarstation, in der die DLR-Wissenschaftler auch die Sporthalle nutzen können. „Aber es ist schon sehr wichtig, dass sich alle Teammitglieder untereinander gut verstehen.“ Es komme halt nicht nur auf die fachliche Kompetenz an, sondern auch auf die menschliche, betont Metzsig. „Jeder muss die Macken des anderen akzeptieren können.“

Faszination für eine abgelegene Welt

Wie man mit der Abgelegenheit und den beengten Lebensverhältnissen in der Antarktis umgeht, bleibt jedem selbst überlassen. Bücher, Filme, Musik. „Das Highlight ist eigentlich das gemeinsame Kochen und Essen“, sagt Stationsmanager Robert Metzsig. Aber nicht jeder komme für den Schichtbetrieb auf der Peninsula Schmidt in Frage. „Viele wollen gerne mal zu Besuch dorthin kommen, die Antarktis erleben, aber gleich mehrere Monate zu bleiben, können sich die wenigsten vorstellen.“ Vergleichbar sei so ein Aufenthalt auf O'Higgins fast schon mit einer Mission in den Weltraum. Das enge Arbeiten im Team, wenig Platz, um sich zurückzuziehen, nur wenig Kontakt zur Außenwelt und eine fast lebensfeindliche Umgebung. „Wenn sich jemand für diese Welt nicht begeistern kann, kann man ihn nicht als Teammitglied dorthin schicken“, sagt Metzsig. Dann klickt er weiter durch die Fotos, die O'Higgins und die Natur zeigen. Im Weiß von Inlandeis und Meereseis ist der Übergang von Land zu Wasser kaum zu erkennen. Auf den Containern der Station liegen dicke Schneeschichten. Und ein aufgeplusterter Pinguin blickt fast nachdenklich aufs Wasser hinaus. Es ist halt eine ganz eigene Welt, in der das DLR an 365 Tagen im Jahr den Signalen der Satelliten im Weltall lauscht. ●



Regionalmeldungen

Stuttgarter Studie belegt: großes Energiepotenzial durch Offshore-Windkraft in der Nordsee

Bis 2030 könnten 135 Gigawatt Strom aus der Nordsee kommen. Das entspricht einer Leistung von etwa 135 Kernkraftwerken. Zu diesem Ergebnis kommt eine Studie, an der das Stuttgarter DLR-Institut für Technische Thermodynamik mitgewirkt hat. Entscheidend zur Erschließung dieses Potenzials sind die zukünftigen Rahmenbedingungen für die Windenergie-Branche. Die Studie „WindSpeed“ gibt dazu erstmals konkrete Handlungsempfehlungen.

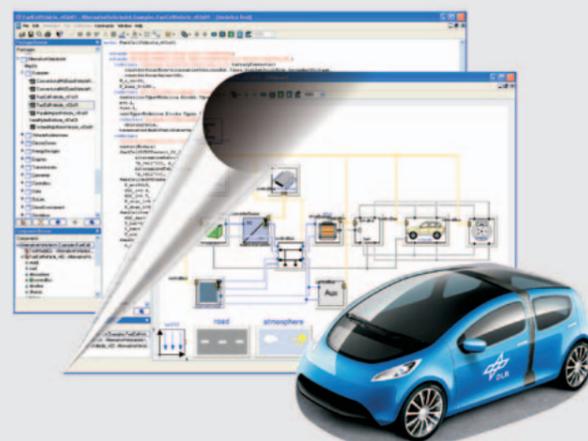
Die DLR-Forscher entwickelten ein Bewertungswerkzeug, das in der Nordsee geeignete Flächen für Windkraftanlagen identifiziert. Mit Hilfe eines Geografischen Informationssystems (GIS) werden dazu die Windstärke und die Wassertiefe in verschiedenen Seegebieten verknüpft und bewertet. Für eine größere Detailgenauigkeit sind Naturschutzgebiete, Schifffahrtsrouten sowie Gas- und Ölplattformen berücksichtigt. Anhand der Daten wurden die Kosten möglicher Windparks berechnet und passende Technologien ermittelt. Bis 2020 wäre es möglich, zu einer Leistung von bereits 32 Gigawatt zu kommen. Das Werkzeug ist nach einer Registrierung über die Projekthomepage www.windspeed.eu online frei nutzbar.

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



75 Kilometer vor der deutschen Küste liegt Alpha Ventus, der erste Offshore-Windpark in der Nordsee. 2010 wurden die zwölf Windkraftanlagen in Betrieb genommen. Bis 2030 könnten solche Offshore-Anlagen bis zu 135 Gigawatt an Leistung liefern.

Software zur Simulation alternativer Antriebe



Die „AlternativeVehicles“-Bibliothek wird von der Bausch-Gall GmbH vertrieben: www.bausch-gall.de

Mit der zunehmenden Komplexität moderner Antriebssysteme werden Simulationen immer bedeutender. Um den Nutzen alternativer Antriebstechnologien zu quantifizieren und zu optimieren, wurde im DLR die Modelica-Bibliothek „AlternativeVehicles“ entwickelt. Mit dem leistungsfähigen Werkzeug kann die Längsdynamik und insbesondere der Kraftstoffverbrauch alternativer Antriebs- und Fahrzeugkonzepte berechnet werden.

Die Software-Bibliothek aus dem Stuttgarter DLR-Institut für Fahrzeugkonzepte mit Beiträgen aus dem DLR-Institut für Robotik und Mechatronik stellt eine Vielzahl von Komponentenmodellen und Gesamtfahrzeugarchitekturen bereit. Die Modelle orientieren sich an den aktuellen alternativen Fahrzeugkonzepten Batterie-, Hybrid- und Brennstoffzellenfahrzeug. In diesen Konzepten spielen elektrische Antriebe und die Speicherung elektrischer Energie eine wichtige Rolle. Die Simulation der Antriebssysteme unterstützt die Entwicklung von Betriebsstrategien und die Ermittlung optimaler Betriebsbereiche neuartiger Komponenten und Systeme.

www.DLR.de/FK

10.000 Gäste informierten sich im Jubiläumsjahr über das DLR Stuttgart

Das DLR Stuttgart hat seinen 50. Geburtstag im Jahr 2011 mit einer ganzen Palette von Veranstaltungen gefeiert. Von Januar bis November waren rund 10.000 Gäste zu Besuch bei Vorträgen, bei Schülerwochen, beim Tag der offenen Tür, beim Karrieretag oder beim Aktionstag für Kinder. Der Tag der offenen Tür im Juli war als Hauptveranstaltung im Jubiläumsjahr ein großer Erfolg für die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter des DLR Stuttgart, von denen wohl keiner mit einem Ansturm von 8.000 Personen gerechnet hatte.



Besonders beliebt beim wissenschaftlichen Nachwuchs waren die Themenwochen für Schulklassen. Rund 500 Schülerinnen und Schüler haben gelernt, wie Strom aus Biomüll in die Steckdose kommt oder wie das Auto der Zukunft aussehen wird. Dabei durften sie in den DLR-Forschungslaboren den Wissenschaftlern über die Schulter blicken. Die freien Plätze im ersten Halbjahr 2011 waren bereits nach zwei Wochen ausgebucht.

Ein Highlight war die populärwissenschaftliche DLR-Vortragsreihe „Wissenschaft After Work“ mit Liveübertragung ins Internet. Alle Vorträge stehen online unter www.livestream.com/dlrstuttgart und sind jederzeit abrufbar. Aufgrund der großen Nachfrage ist sowohl für die Themenwochen als auch für die Vortragsreihe eine Fortsetzung im Jahr 2012 geplant. Aktuelle Informationen dazu gibt es ab Anfang kommenden Jahres unter:

www.DLR.de/Stuttgart
www.facebook.com/dlrstuttgart
[www.twitter.com/DLR_Stuttgart](https://twitter.com/DLR_Stuttgart)

Energiespeicher im Fokus: Symposium im März 2012

Welche Rolle spielen Energiespeicher bei der zukünftigen Stromversorgung? Wie genau sehen die technischen Lösungen für Energiespeicher von morgen aus? Am 7. März 2012 veranstaltet das Stuttgarter DLR-Institut für Technische Thermodynamik erstmals das Symposium „Energiespeicher – Schlüsselkomponente für nachhaltige Energiekonzepte“, um aktuelle Ergebnisse aus Forschung und Industrie vorzustellen.

Technisch und wirtschaftlich attraktive Energiespeicher sind die elementare Voraussetzung, um den Ausbau Erneuerbarer Energien und der Kraft-Wärme-Kopplung, den Einstieg in die Elektromobilität und eine effizientere Wärmebereitstellung voranzutreiben. Die Wissenschaftler im Institut für Technische Thermodynamik im DLR Stuttgart setzen deshalb seit mehreren Jahren verstärkt ihren Fokus auf die Forschung zur effizienten und Ressourcen schonenden Energiespeicherung.

Das Spektrum der DLR-Arbeiten reicht von thermischen und thermochemischen Energiespeichern über Batterien bis hin zu Wasserstoffspeichern. Die Wissenschaftler erstellen sowohl theoretische Studien zu systemanalytischen und techno-ökonomischen Fragestellungen zum Speicherbedarf wie auch grundlagenorientierte Laborarbeiten. Darüber hinaus entwickelt und betreibt das DLR in enger Zusammenarbeit mit der Industrie Pilotanlagen zur anwendungsnahen Entwicklung hochmoderner Energiespeichertechniken. Das Energiespeichersymposium wird ab 2012 im jährlichen Turnus wiederholt werden. Informationen ab Dezember 2011 unter:

www.DLR.de/tt/energiespeichersymposium



Kern der Versuchsanlage „HOTREG“ beim Institut für Technische Thermodynamik ist ein fünf Meter hoher Speicherbehälter. Mit dem variablen Teststand zur Untersuchung von Wärmespeichern können die Wissenschaftler unterschiedliche Speicherkonzepte, Betriebsweisen und Materialien erproben.



Ein Kunstwerk wie ein Flug ins All

Am Ende des Jahres, in dem das fünfzigste Jubiläum der bemannten Raumfahrt vielfältig ins Rampenlicht gerückt wurde, lassen wir das Thema unter ungewöhnlichem Blickwinkel Revue passieren: Raumfahrt und Kunst. Die KUNSTHALLE wien hatte dazu 2011 eine vielbeachtete Ausstellung präsentiert. Deren Katalog inspiriert über die Dauer der Ausstellung hinweg. Ebenso inspirierend: die Positionen des Kunstexperten, des Astronauten, des Wissenschaftlers, des Wissenschaftsmanagers und der Kuratorin. In der folgenden Betrachtung kommen sie zu Wort.

Nach einem halben Jahrhundert astronautischer Raumfahrt begegneten sich Weltraum und Kunst in einer Ausstellung in Wien

Von Peter Zarth



Ausstellungsansicht KUNSTHALLE wien, v.l.n.r.: Simone Leigh, *Back and Forth (Uhura)*, 2008 / Tom Sachs, *The Crawler*, 2003, Sammlung Thaddaeus Ropac, Salzburg-Paris / Mariko Mori, *Genesis (Soap Bubbles)*, 1996, Sammlung Ringier, Schweiz / Virginie Yassef, *Box Jellyfish*, 2004, Courtesy GP&N Vallois, Paris. Foto: Stephan Wyckoff

Keith Tyson, *Studio Wall Drawing: 2006 - Zero duration from emission to absorption... to live and die is to shine*, 2006 Mixed media on watercolour paper 157 x 126 cm © Keith Tyson

Am meisten verwundert es, dass sich niemand wundert. An Bürowänden hängen Kunstwerke, und niemand fragt, weshalb: so beim Astronauten Gerhard Thiele ein Bild, das die Pianistin Clara Haskil zeigt. Beim Direktor des Naturhistorischen Museums Wien, Professor Christian Köberl, fotorealistische Gemälde von Atompilzen der Malerin Dona Jalufka. Bei Professor Kai-Uwe Schrogl war es in seiner Zeit als Direktor des European Space Policy Institute (ESPI) ein Großformat, das ihn „an den Urknall und an das Universum erinnert“. Bei Manuel Ströhl von der „Art & Science Wien“ finden wir Altmeisterliches neben junger Avantgarde.

Bei dem einen scheint die Kunst Schmuck zu sein, beim anderen soll sie ästhetisch gefallen und zugleich provozieren, beim dritten bildet sie den wandfüllenden Akzent zur Klarheit und Leere seines Arbeitsraums, und bei dem, für den Kunst Berufung ist, ist sie eine Selbstverständlichkeit. Niemand von ihnen stellt die Kunst in Frage.

Raumfahrerin der Kunst

Eine hingegen treffen wir nicht in einem Office, sondern inmitten von Kunst an. „Weltraum – Die Kunst und ein Traum“, so der Titel einer Ausstellung in Wien. Cathérine Hug erläutert uns zwei Stunden diese, aus Anlass des 50. Jahrestages der bemannten Raumfahrt von ihr kuratierte Schau der KUNSTHALLE wien. Cathérine Hug ist ein Mensch, der sich sehr darüber wundern kann, dass und welche Kunst um jemanden herum ist. Dies hat sie auch zur Wissenschaft und bis zur Raumfahrt gebracht. Die Schweizerin arbeitet eng mit Künstlern zusammen, die sich Wissenschaftsthemen nähern oder sich wissenschaftlicher Methoden und Anordnungen für ihre Kunst bedienen – und somit auch mit den eingebundenen Wissenschaftlern. Große und größte Namen sind darunter: der neue Stern der französischen Szene, Loris Gréaud, die Ikone der amerikanischen Kunstgeschichte, Robert Rauschenberg, der Turner-Prize-Träger Keith Tyson ...

Cathérine Hug ist eine Raumfahrerin der Kunst. Ihr Raum ist die Welt, nicht nur die hinter der Wirklichkeit. Ihre Art der Annäherung an Welträume bringt sie so auf den Punkt: „Wir möchten mehr Fragen aufwerfen als beantworten.“ Was vom Wissenschaftler selbstverständlich hingenommen wird, ist bei ihr Ziel: (Ergebnis-)Offenheit. Vermutlich ist dies der Grund, weshalb die Ausstellung und der goldene, teilweise im Präge- und Siebdruckverfahren erstellte Katalog grandios geworden sind.



Mariko Mori, *Genesis (Soap Bubbles)*, 1996, Duratan Druck (3-dimensional) in Lichtkasten, 180 x 120 x 35 cm, Sammlung Ringier, Schweiz © VG Bild-Kunst 2011

Um dies nachvollziehen zu können, möge man sich einmal den umgekehrten Fall vorstellen: Namhafte Künstler hätten in ihren Ateliers Exponate aus der Raumfahrt an der Wand hängen. Sie würden gefragt werden, weshalb die dort seien. Dass hingegen Kunst an Wänden der Büros von Raumfahrern und Wissenschaftlern längst angekommen ist, treibt kaum jemanden zu einer Frage.

Anders ist dies, wenn man sich dem Werk der Künstler in der Ausstellung stellt. Dort gewinnt man den Eindruck, Raumfahrt und Kunst seien Geschwister, die nicht gemeinsam aufgewachsen sind, fremde, manchmal entfremdete Geschwister. In der Raumfahrt wird Kunst für selbstverständlich gehalten, oft aber nur als dekoratives Element, und selten dann, wenn es um ihren Gegenstand, also um die Raumfahrt geht. Die Raumfahrt

indes ist der Kunst alles andere als selbstverständlich. Und wird damit zu einem ihrer Gegenstände. In beiden Fällen fragt man sich, warum das so ist.

Getrennte Wirklichkeiten

Alle der oben Genannten sind angetreten, dies zu ändern. Mit Ausnahme des Kunsttheoretikers Ströhl in haben sie sich an dieser Ausstellung, dem Katalog und einem exquisiten Rahmenprogramm beteiligen können. Es hat Charme, dass eine Schweizerin in Österreich etwas bewirken konnte, das die großen Raumfahrtnationen nicht geschafft haben, jedenfalls nicht zum 50. Jahrestag der astronautischen Raumfahrt: einen Einblick in zeitgenössische Kunst zum Thema Raumfahrt der letzten 15 bis 20 Jahre zu geben.

Ströhl ist es, der erklären kann, wie diese fremden Geschwister kommunizieren: „Kunst und Wissenschaft verhalten sich zueinander nicht wie getrennte Bereiche von Wirklichkeiten. Vielmehr bilden sich diese Welten durch die verschiedenen Weisen, in denen wir uns durch Kunst und Wissenschaft in der Wirklichkeit bewegen, uns in ihr orientieren, uns ein Bild von ihr machen. Es sind verschiedene Bewegungsräume des Menschen, in denen sich sein Weltverhältnis ausformt. Möglicherweise fehlt die Kunst nicht der Wissenschaft selbst und der Technik. Aber uns Menschen, die wir in einer durch Wissenschaft und Technik geprägten Welt leben, würde ohne Kunst etwas fehlen, das zu diesem Leben nötig ist.“

Vielleicht hingen Kunst und Wissenschaft ja gerade da zusammen, wo sie sich spezifisch unterscheiden. Beide basierten auf Erfahrung und führten wieder zu Erfahrung hin, aber auf je eigene und sehr unterschiedliche Weise. Die Naturwissenschaften benötigten Erfahrung, sofern sie messbar, quantifizierbar und unter definierten Bedingungen identisch wiederholbar ist. Die Kunst hingegen interessiert gerade das an der Erfahrung, was unablässig mit dem körperlichen, sinnlichen Erleben des Einzelnen zusammenhänge, was also immer individuell, subjektiv und deutungs offen bleibe. Beides gehöre zur Wirklichkeit und zur Art des Menschen, in ihr zu leben – das Allgemeine und das Singuläre, das Regelmäßige und das Unregelmäßige, das Eindeutige und das Vieldeutige. Man dürfe das eine nicht auf das andere reduzieren, erst beides zusammen ergebe wohl das Ganze, so Ströhl.

Raumfahrt ist Kunst

Der Wissenschaftler und ehemalige Spaceshuttle-Astronaut Gerhard Thiele, der kulturwissenschaftlich im ESPI in Wien wirkt, hat auf die Fragen, ob Raumfahrt Kunst und Kunst Raumfahrt ist, eine klare und eine ungewöhnliche Antwort: „Ja, Raumfahrt ist Kunst.“ Thiele erläutert dies mit einer Anekdote aus dem Film „Story“ (Regie: Dana Ranga), in dem der US-Astronaut Story Musgrave porträtiert wird. Nach langer Überlegung, wie er seinen Beruf definieren würde, und nach Ausschluss aller anderen Bezeichnungen komme Musgrave zu dem Satz: „Yes, I'm an artist. In a way.“ Mit seiner Antwort auf die Frage, ob Kunst Raumfahrt ist, geht Thiele weiter: „Raumfahrt ist Heimkehr.“ Sie verändere das Bild von uns selbst und unser Weltbild vollkommen. Für jede Art von Kunst gelte: Haben wir einen Zugang zu ihr, so geschieht

etwas mit uns, wir müssen uns darauf einlassen. „Die Auseinandersetzung mit einem Objekt eröffnet neue Perspektiven. Das ist so, wenn ich mich im Raum an einen anderen Ort begeben. Genau das machen wir in der Raumfahrt auch. Wir eröffnen neue Blickwinkel.“ Faszinierend wird Thieles Bericht, wenn er von einem Kunstwerk in der Ausstellung berichtet, dem Film *Soldiers of light* (2005) der Amerikanerin Jen Liu. Es sehe zunächst wie eine Menschengruppe aus, in der immer eine Figur hüpfte. Jeder Figur sei, so scheine es ihm, ein Instrument und ein Klang zugeordnet. Alles erscheine im Gleichklang und in Gegenbewegung, nur scheinbar bewegten sich alle Figuren im gleichen Rhythmus. Eine Figur werde im Wechsel hervorgehoben. Thiele: „Aus vollkommen Unterschiedlichem entsteht Gemeinsames.“ Und er fragt: „Der Mensch, was macht er denn in der Kunst? Fast immer hinterfragt er Grenzen. Die Kunst und die Raumfahrt stellen sich der Herausforderung, hinter das vermeintlich Gewisse zu schauen.“ Gerhard Thiele schweigt und sagt dann: „Dieses Kunstwerk ist wie mein Flug ins All.“

Erlaubtes Spiel

Einen pragmatischen Ansatz verfolgt Kai-Uwe Schrogl, ehemaliger Direktor des European Space Policy Institute, kurz ESPI, und heute Leiter des ESA Policies Department, für den, wie er formuliert, Kunst „verspielt“ sei. Damit trifft er sicher ein Wesensmerkmal von Kunst, und bei der Schärfe seines Intellekts ist ihm zu unterstellen, dass er mathematische Spieltheorien nicht nur mitdenkt, sondern auch mit im Sinn hat. In seiner Zeit beim ESPI hatte das Institut den Brückenschlag zu Kunst- und Geisteswissenschaften gesucht, mit dem Ziel, die Raumfahrt in andere Bereiche als die klassisch technologiebesetzten hineinzutragen. Schrogl's Politikbegriff ist damit so offen wie die Kunst, und es kommt nicht von ungefähr, dass das ESPI regelmäßig Kunstaustellungen in den eigenen Räumen ausrichtet. Dass aus Raumfahrt Kunst werden könne, ist für Schrogl kein fremder Gedanke, die Umkehrung halte er allerdings für „baren Unsinn“.

Kunst und Wissenschaft brauchen Offenheit

„Mich hat immer interessiert, Wissen zu vermitteln.“ Professor Christian Köberl könnte den Eindruck erwecken, sein Haus habe sich an der Ausstellung beteiligt, weil er neue Zielgruppen erreichen und ein anderes Publikum ansprechen wollte. Das ist auch ein Grund, doch Köberl denkt tiefer. Moderne Wissenschaft sei interessant, spannend, relevant, wichtig. Sie reize Grenzen aus. Bei letzterem Gedanken zieht er die erste Parallele zur Kunst. Ob Wissenschaft Kunst sei? Köberl muss nicht nachdenken, denn gerade dazu hat er eine – überraschende – Meinung. Wissenschaft und Kunst zeichne „die gleiche Kategorie der Neugierde des Menschen aus, die ihn vom Tier unterscheidet. Tiere machen nicht Kunst für sich; Kunst bereitet Freude, in der Wissenschaft möchten wir etwas wissen. Unsere Themen, die von Kunst und Wissenschaft, sind verwandt, aber nicht identisch.“

Man solle in der Kunst und der Wissenschaft ähnlich denken, vor allem offen sein. Köberl weiter: „Offenheit ähnelt sich bei Wissenschaft und Kunst. Wenn ich etwas suche, dann ist es schon verloren“, sagt der weltweit anerkannte Meteoritenexperte, der sich als Verfechter der Grundlagenforschung bezeichnet. Er

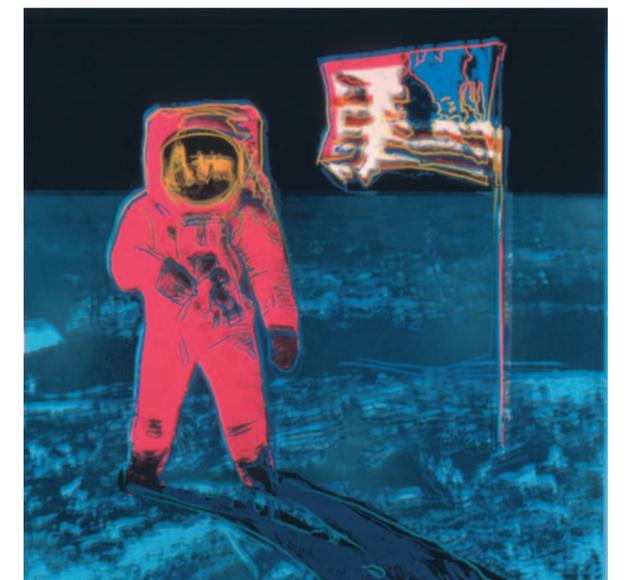
präzisiert: „Das ist wichtig in der Kunst: dass sie keine Erklärung braucht.“

Kunst schafft Kunst

Dieses Zitat würde die Kuratorin so sicher nicht unterschreiben, ja, sie fügt ein kleines, entscheidendes Wort ein: „Kunst braucht nicht zwangsläufig eine Erklärung“. Nach zwei Stunden nähern wir uns mit ihr dem Ende eines Rundgangs, der – und das ist als Kompliment gemeint – mehr Fragen aufgeworfen als Antworten gegeben hat. Kunst hat Neugierde bewirkt. Sie hat auch Neues geschaffen: Die Kuratorin berichtet, wie man lange überlegt hätte, welches Kunstwerk wo zu platzieren sei. Viele der bildenden Künstler setzen Musik, Klang und Töne ein. „Ton ist im Weltraum etwas Neues“, sagt sie, „aber mit Tönen ist es hier wirklich schwierig“. Der Kuratorin, die „von der Musik her“ komme, fehlen zum Thema „Klangüberlagerung“ die Worte für eine Erklärung, fast. „Der Ton ist die Grenze, Ton durchdringt hier den ganzen Raum; planen kann man das nicht in aller Präzision, denn dazu fehlt uns noch die Simulationssoftware – aber darin liegt auch das Schöne von Überraschungen.“

Sie schweigt und sieht sich um. „Ich bin erfreut“. Vielleicht wundert sie sich gerade über diese, für sie neue Sichtweise ihrer Ausstellung, über einen unbestimmbaren Klang von Kunst und Raumfahrt. Verwundern würde dies nicht. Cathérine Hug ist ein offener Mensch. ●

Weitere Informationen:
www.kunsthallewien.at



Andy Warhol, *Moonwalk (1, pink)*, 1987, Siebdruck auf Papier, 96,5 x 96,5 cm, Ronald Feldman Fine Arts, Inc., New York © The Andy Warhol Foundation for the Visual Arts, Inc. © VG Bild-Kunst 2011



Manuel Ströhl, freier Autor und Kurator, hat eine Vorliebe für interdisziplinäre Projekte und findet sie beim Verein ART & SCIENCE in Wien: Der Wissenschaft fehlt die Kunst nicht, aber uns Menschen, die wir in einer durch Wissenschaft und Technik geprägten Welt leben.



Gerhard Thiele, Physiker und Astronaut, ist am European Space Policy Institute (ESPI) unter anderem betraut mit Fragen zur europäischen Autonomie in der Weltraumforschung: Wir schauen hinter das vermeintlich Gewisse, wie die Kunst auch.



Prof. Dr. Kai-Uwe Schrogl, Politikwissenschaftler, vormals Direktor des European Space Policy Institute (ESPI), seit September 2011 Leiter des Policies Department der Europäischen Weltraumorganisation ESA: Aus Raumfahrt kann Kunst werden, die Umkehrung allerdings ist Unsinn.



In den Erdwissenschaften verwurzelt, der Kunst zugewandt: Christian Köberl, Generaldirektor des Naturhistorischen Museums Wien, sieht Neugier als Brücke, auf der Kunst und Wissenschaft sich treffen.



„Wir alle sind Sternenstaub“ überschreibt die Kuratorin Cathérine Hug ihre Einleitung zum Ausstellungsband. Ihrer Entdeckungslust für Verbindendes zwischen scheinbar Fremdem setzt sie ungerne Grenzen.

Irdische Schönheit im kosmischen Blick



Wenn Astronauten aus dem All zurückkehren, schwärmen alle insbesondere von einem: dem Blick auf die Erdkugel. Das Glück, aus weiter Entfernung auf den Globus zu schauen, haben jedoch nur wenige. Einen guten Ersatz finden alle anderen aber durchaus in dem Buch **Mission Erde – Satelliten erforschen unseren Planeten (Verlag h.f. ullmann)**.

Der Flussverlauf des Irrawaddy in Myanmar, gesehen mit den „Augen“ des Envisat-Satelliten, die Osterinsel als Aufnahme des Radarsatelliten TerraSAR-X, wirbelnde Luftmassen über dem Südpazifik, der Schatten des Mondes auf der Sahara während der Sonnenfinsternis vom 29. März 2006. Schon allein beim ersten Durchblättern entdeckt man ungewöhnliche Blickwinkel, faszinierende Motive und profitiert zudem davon, dass Satelliten einen ganz eigenen Blick auf die Erde werfen. Sie ermöglichen es, dass man die Erdanziehungskraft in 3D wahrnehmen kann, die Bodenabsenkungen in Mexiko-Stadt sichtbar werden und das Ausmaß einer Überflutung am Mississippi anschaulich wird.

Autor Dirk H. Lorenzen erläutert zudem ausführlich (und mehrsprachig übersetzt), was die „Armada an spezialisierten Satelliten“ leisten kann. Er sensibilisiert seine Leser dafür, dass die Daten aus dem All wichtige Informationen über das Leben auf der Erde geben. Einziger Kritikpunkt: Die Satellitenaufnahmen illustrieren meistens nicht 1 zu 1 das, was im Text gerade erläutert wird, und es gibt auch nicht von jeder Satellitenmission entsprechende Aufnahmen. Das sollte aber nicht davon abhalten, ausgiebig in Farben, Formen und vielen Informationen zu schwelgen.

Manuela Braun

Über unseren erstaunlichen Planeten

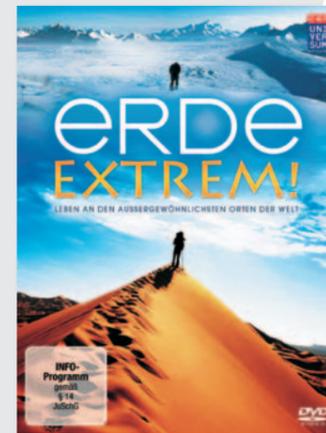
Ein Schulbuch. Zumindest beim ersten Blättern ist das die Schublade, in die man **Ein Planet voller Überraschungen. Neue Einblicke in das System Erde (Spektrum Akademischer Verlag)** steckt. Die Texte mit Zwischenüberschriften sind ergänzt durch Tabellen, Fotos, Grafiken und Diagramme. So etwas kennt man aus den Erdkundebüchern der Schulzeit. Das sollte aber nicht irritieren: Die Autoren des Deutschen GeoForschungs-Zentrums Potsdam (GFZ) schaffen es, auch schwierige Sachverhalte gut verständlich und zweisprachig (deutsch/englisch) zu erklären. Somit hält man in der Tat eine Art Schulbuch in der Hand – allerdings eines für erwachsene Leser, die sich für Wissenschaft interessieren.

Das Sachbuch vermittelt aber nicht nur Erkenntnisse über die Erde: Es bietet auch einen guten Einblick, wie Forscher sich ein Bild von der Erde verschaffen, berichtet zum Beispiel über Tiefbohranlagen, das Tsunami-Frühwarnsystem GITEWS in Indonesien oder den analytischen Blick der Satelliten auf die Erdkugel. „Ein Planet voller Überraschungen“ ist kein Buch zum Schmökern und beliebigen Herumblättern. Das kann man zwar machen und sich die Satellitenaufnahmen, dreidimensionalen Modelle oder Laboraufnahmen anschauen. Fürs Lesen der Artikel braucht es aber Ruhe und Konzentration – nimmt man sich diese, dann kann man in jene Wissenschaft hineinschnuppern, die unsere Erde im Fokus hat.

Manuela Braun



Alltag an extremen Orten

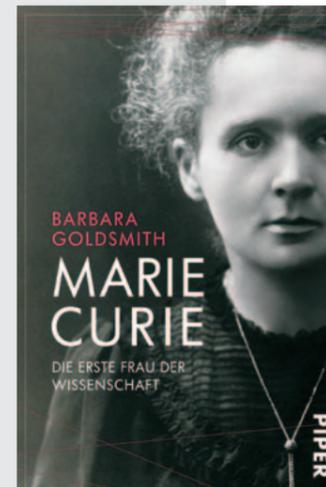


Bei minus 58 Grad Celsius lassen die Russen in Sibirien ihre Autos ständig laufen – sonst würden sie ihr Fahrzeug bei solchen Temperaturen nicht mehr starten können. So etwas erfährt man im ersten der drei Berichte, die die DVD **Erde extrem! Leben an den außergewöhnlichsten Orten der Welt (Polyband)** vereint. Der kälteste Ort, der heißeste, der trockenste und der feuchteste Ort, Orte in den Anden und Orte am Toten Meer. In jeweils 50 Minuten stellen die Filmautoren die Extreme weltweit vor. Dabei spielt weniger die Wissenschaft eine Rolle – ab und zu kommt mal ein Forscher zu Wort, aber in der Hauptsache stehen andere Protagonisten im Fokus: die Menschen, die an diesen Orten leben. Dabei wird eifrig zwischen den extremen Orten hin- und hergesprungen. Leider hat man dabei auch immer wieder das Gefühl, dass sich manches wiederholt. Jede der Folgen hätte schon ein wenig gestrafft werden können.

Insgesamt aber machen alle Episoden Spaß. Statt konzentriert trockene Fakten aufnehmen zu müssen, erfährt der Zuschauer hier in leicht verständlichen Häppchen, welche Auswirkungen die Extreme auf die Bewohner dieser Regionen haben, sieht schöne Aufnahmen von den verschiedensten Ecken der Erde und wird dabei gut unterhalten.

Manuela Braun

Vom Glück und Leid der Forscherin



Wie eine Leuchtspur führen die Kapitelüberschriften zum Vermächtnis der Forscherin und dokumentieren, es geht um die Eine, um die erste Frau der Wissenschaft, **Marie Curie**: „Die Chemie des Unsichtbaren“, „Sie ist sehr hartnäckig“, „All meine Kraft“, „Die Entstehung eines Mythos“. – So packend geschrieben und zugleich historisch belegt ist selten eine Biografie vorgelegt worden. Staunend, zuweilen fassungslos folgt man ohne Unterlass (wie die Protagonistin selbst in ihrem Tun) dem Lebens- und Schaffensweg der Maria Salomee Sklodowska, der später so berühmten einzigen Frau, die jemals zwei Nobelpreise erhielt, der ersten Frau, die diese Auszeichnung überhaupt bekam. Die amerikanische Historikerin und Journalistin Barbara Goldsmith hat ein einfühlsames Porträt geschrieben, hartnäckig recherchiert, Dokumente gesichtet, die noch immer radioaktiv sind.

Nach der Lektüre der 230 Druckseiten des bei **Piper** erschienenen Buchs ahnt man mehr, als dass man wirklich versteht, was das Tag und Nacht für seine Bildung arbeitende junge Mädchen antrieb, was die junge Frau bewog, ihr ganzes Denken um das Studium kreisen zu lassen, und später unter körperlich härtesten Bedingungen ihre Untersuchungen zur Radioaktivität zu verfolgen, egal wie widrig die Umstände auch waren. Das Buch bringt einem eine komplexe, leidenschaftliche und überaus beharrliche Persönlichkeit nahe, eine kluge und stolze, aber auch verletzte und melancholische Frau. Zudem vermittelt es Wissenschaft auf verständliche und emotional berührende Weise.

Cordula Tegen

Trainingsbuch für Raumfahrt-Englisch

In einer anderen Sprache zu kommunizieren, ist für die Mehrheit derer, die seit Jahren in der Luft- und Raumfahrt arbeiten, kein Problem. Für Berufseinsteiger und jene, die sich nicht regelmäßig in dem Metier bewegen, mag es schon schwerer sein, sich richtig zu verständigen. Bei **Hanser** ist von John Nixon das Trainingsbuch **Modern English for Aeronautics and Space Technology** erschienen. Kurz und knapp vermittelt es nicht nur die Grundlagen, sondern es geht gut illustriert darüber hinaus. Die Fachbegriffe werden nicht einfach nur übersetzt, sondern anhand von Illustrationen zudem erläutert und in ihrem technischen Zusammenhang dargestellt. Eine gute Grundlage für Anfänger, eine gute Ergänzung für Profis – und einfach mal zum Nachschlagen.

Andreas Schütz



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 16 Standorten Köln (Sitz des Vorstands), Augsburg, Berlin, Bonn, Braunschweig, Bremen, Göttingen, Hamburg, Jülich, Lampoldshausen, Neustrelitz, Oberpfaffenhofen, Stade, Stuttgart, Trauen und Weilheim beschäftigt das DLR circa 7.000 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, Dorothee Bürkle, Elisabeth Mittelbach,
Andreas Schütz, Marco Trovatello sowie Peter Zarth

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

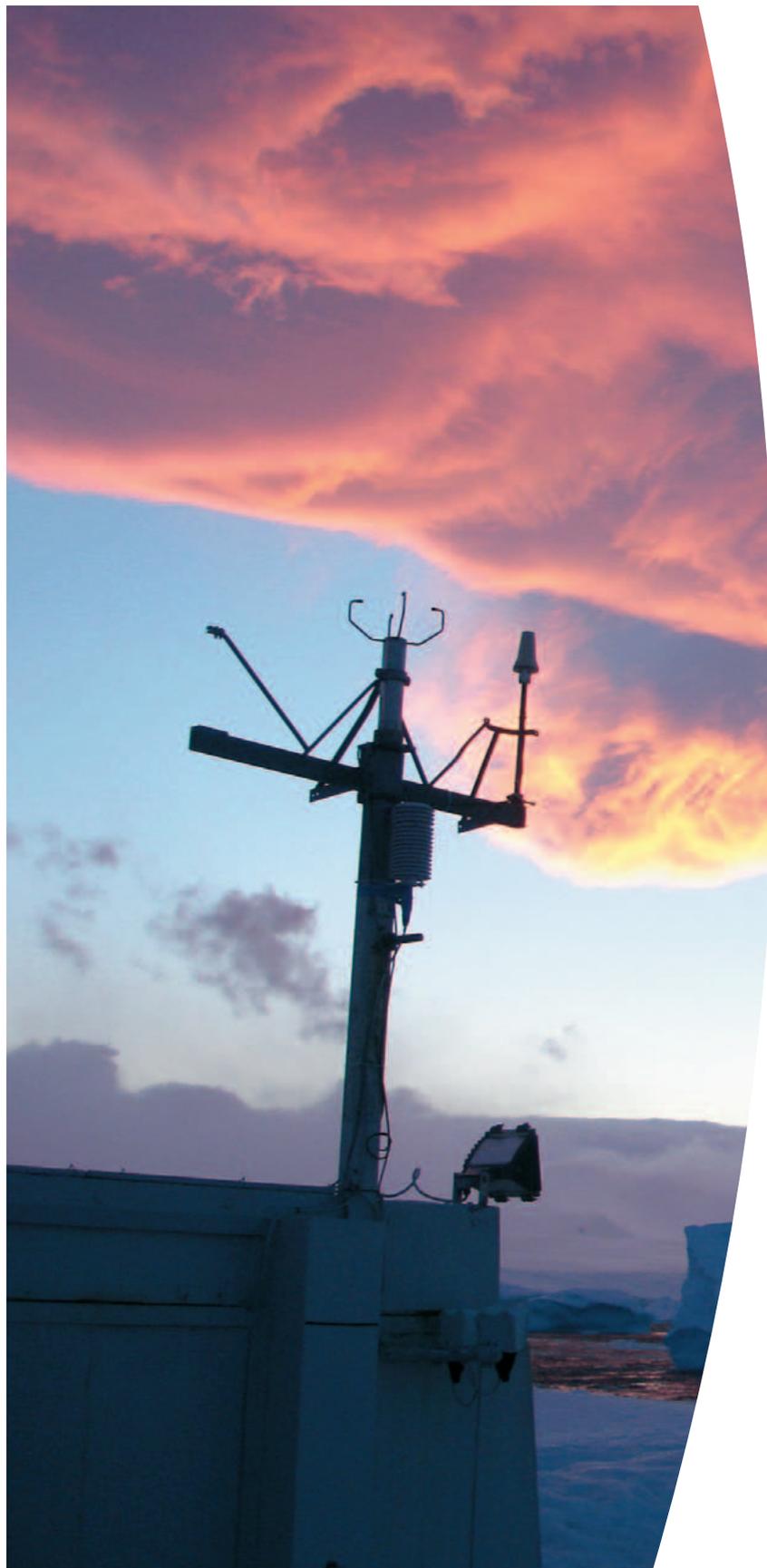
Druck: Druckerei Thierbach,
45478 Mülheim an der Ruhr

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 mithilfe der automatischen Datenverarbeitung geführt wird. Gedruckt auf umweltfreundlichem, chlorfrei gebleichtem Papier. Bilder DLR, soweit nicht anders angegeben.



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