



Das Magazin des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR) · www.DLR.de · Nr. 134 · Juni 2012

DLR magazin 134



Kleiner als ein Knopf...

... und voller Power: Nanokondensatoren

Wandelbarer Mars

Der Rote Planet in neuem Licht

Der Ozean über uns

50 Jahre DLR-Atmosphärenforschung

DLR magazin134



Stolz auf den Stader Riesenofen

Durchmesser sechs Meter, Länge fast 20 Meter. Das sind beeindruckende Maße für einen Backofen. Doch schließlich backen darin ja auch nicht Brote, sondern Flugzeugbauteile, und zwar solche aus kohlefaserverstärktem Kunststoff. Dazu setzt das Team aus dem Institut für Faserverbundleichtbau und Adaptronik am neuen DLR-Standort Stade den fachmännisch als Autoklaven bezeichneten Ofen unter Druck und heizt ihn auf 100 bis 400 Grad Celsius auf. Dann härten darin die mit Harz getränkten Fasern der sogenannten Prepregs aus. Fertig ist das Bauteil. Weshalb das gar nicht so einfach ist und warum der größte Forschungsautoklav der Welt das Attribut „grün“ trägt, lesen Sie im Beitrag „Backe, backe Bauteil“ von Jasmin Begli.

Editorial	3
EinBlick	4
Leitartikel Was für eine Gleichheit?	6
Meldungen	8
Backe, backe, Bauteil Mit dem „grünen“ Autoklaven zum perfekt ausgehärteten Flugzeugbauteil	12
Reparatur wie im Fluge Kunststoffbauteile: Wenn Nieten nicht taugen, dann wird geklebt	16
Interview Prof. Dr. Michael Kupke: Aufbruch für die Leichtbautechnologie	20
Den Wirbeln bleibt die Luft weg Sauger und Löcher in der Außenhaut sorgen für perfekte Flugzeugumströmung	22
Kleiner als ein Knopf und voller Power Gespräch über schnelle Stromspeicherung in winzigen Nanokondensatoren	26
Porträt Solarenergie: Christoph Schillings entdeckt die Möglichkeiten	30
Der mit den „Handschuhen“ fliegt Der kleinste Flugversuchsträger des DLR	34
Überlebenskünstler im Härtestest Fotosynthese unter Marsbedingungen	38

Wandelbarer Mars Der Rote Planet in neuem Licht	40
Der Ozean über uns 50 Jahre Atmosphärenforschung	46
Vor dem großen Rutsch Satelliten beobachten instabile Hänge	50
Bergung im All Robotergesteuertes Rendezvous im Orbit	52
Trumpfdame verspielt Weltraumgeschichte: Die Mercury 13	56
In Museen gesehen Deutsches Auswandererhaus Bremerhaven	58
Rezensionen	60



Liebe Leserinnen und Leser,

Frauen in Führungspositionen sind in Deutschland noch immer die Ausnahme. Anlass für die Politik, immer wieder über das Thema Quote und die Gleichbehandlung von Frauen und Männern in der Arbeitswelt zu diskutieren. Das DLR ist bereits als familienfreundliches Unternehmen zertifiziert. Doch warum gibt es auch im DLR noch so wenig Frauen in Führungspositionen?

Diese zentrale Frage war Grund für einen zweitägigen Workshop mit DLR-Wissenschaftlerinnen auf Initiative von Prof. Dittus, Raumfahrtvorstand des DLR. Ihm war schon in seiner Zeit als Institutsleiter aufgefallen, dass besonders Frauen nach ihrer Promotion verlockende und vor allem karrierefördernde Angebote für Auslandssemester häufiger ablehnten als ihre männlichen Kollegen. Als Raumfahrtvorstand stellte er dann fest, dass es zwar exzellente Wissenschaftlerinnen in seinem Forschungsbereich gibt, aber die Führungspositionen fast ausschließlich durch männliche Kollegen besetzt sind.

Was also hält Frauen davon ab, Führungspositionen zu übernehmen? Dass sich die DLR-Wissenschaftlerinnen nicht trauen, ist erwiesenermaßen nicht der Fall. Dass wir Frauen uns meist erst dann bewerben, wenn wir idealerweise wirklich alle gewünschten Qualifikationen einer Stellenausschreibung schon erfüllen, ist eine selbstgelegte Hürde, die wir vielleicht nehmen können. Schwieriger wird es, wenn in der Wissenschaft die Kinderpause als „Bruch“ in der stringenten Forschung gesehen wird und damit die männlichen Kollegen einen Vorsprung in puncto Erfahrung haben. Außerdem scheint es immer noch schier unmöglich zu sein, Vollzeitjob mit Kindererziehung zu vereinbaren, vor allem dann, wenn der monetäre Ausgleich nicht stimmt. Hinzu kommt, dass fast alle Berufungsausschüsse männlich dominiert sind, zudem die Leistungen auf den unteren Arbeitsebenen oft nicht so gut sichtbar sind und die Netzwerkpfege wegen häuslicher Verpflichtungen kaum möglich ist.

Zahlreiche Vorschläge für verschiedene Maßnahmen werden nun als Ergebnis des Workshops durch den Gesamtvorstand auf ihre Machbarkeit hin überprüft. Für mich überraschend und sehr schön zu sehen war indessen, wie viel Willenskraft und Motivation in den DLR-Wissenschaftlerinnen steckt. Sie möchten einfach eine Chance bekommen, Verantwortung für unser DLR zu übernehmen.

So wie es einst die Mercury 13 wollten, an die das DLR-Magazin erinnert; jene mutigen Frauen, die ins All strebten und jäh ausgebremst wurden. Auf die DLR-Werkstoffwissenschaftlerin Dr. Bilge Saruhan-Brings trifft das nicht zu. Sie leitet erfolgreich ein Team, das an sogenannten SuperCaps forscht, kleinsten Kondensatoren, die Strom rasch und auf wenig Raum speichern. Christoph Schillings indessen wird demnächst von seinen Energiestudien eine Pause machen und sich seinen drei kleinen Jungs widmen. Titel des Beitrags über ihn: „Entdecker der Möglichkeiten“... und das darf durchaus doppelsinnig verstanden werden.

In diesem Sinne wünsche ich Ihnen viel Spaß beim Lesen!

Sabine Göge
Leiterin DLR-Kommunikation

EinBlick

Huckepack zur finalen Mission

Auf dem Rücken einer umgebauten Boeing 747 absolvierte das Space Shuttle „Discovery“ seine letzte Reise. Von Cape Canaveral, Florida, kommend landete es am 18. April 2012 in Washington. Nach dem Umheben auf einen Schwerlasttransporter ging es weiter ins National Air and Space Museum. Dort erfüllt es nun seine finale Mission: Die Erinnerung an 365 Tage im All, 250 Millionen geflogene Kilometer und 5.830 Erdorbits.

© NASA / Bill Ingalls



Maria Gräfin von Linden, die erste Studentin an der Universität Tübingen, um 1920

Was für eine Gleichheit?

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

Vor 100 Jahren in Bonn. Maria Gräfin von Linden forscht und publiziert am Anatomischen und Biologischen Institut der Universität. Sie strebt eine Habilitation an. Und sie ist chancenlos. Erst ab 1920 wird es in Deutschland Frauen erlaubt, sich zu habilitieren.



Prof. Dr.-Ing. Johann-Dietrich Wörner,
Vorstandsvorsitzender des DLR
www.DLR.de/blogs/janwoerner

Vor 50 Jahren in den USA: Im Wettlauf um die Vormachtstellung im All durchlaufen parallel zu den männlichen Astronauten (Mercury 7) 13 Frauen das gleiche Qualifikationsprogramm. Keine von ihnen darf je fliegen. (Diese nicht sehr bekannte Tatsache nutzte ich, um bei meiner Bewerbung im DLR durch spezielles „Raumfahrtwissen“ zu überzeugen ...)

Ein anderes Schicksal: 1921 wird Anna-Elisabeth Gunkel geboren. In den Dreißigerjahren verliebt sie sich in einen Soldaten. Der Vater stimmt dieser Beziehung nur zu, wenn sie ein Studium absolviert, da er einen Krieg mit ungewissem Ausgang befürchtet. Als einzige Frau studiert sie an der TU München Architektur und übernimmt das väterliche Büro. Der Vater sollte Recht behalten: Der Krieg wurde verloren, der Ehemann blieb bis 1949 in russischer Gefangenschaft. Zurückgekehrt begann er ein Studium, Anna-Elisabeth leitete weiter das Büro und bekam „nebenbei“ zwei Söhne. Bis 1967 führte das Ehepaar das gemeinsame Büro weiter. Dann starb der Ehemann und Anna-Elisabeth stand wieder allein in der Verantwortung. Nun setzte sie alles daran, den Söhnen ein erfolgreiches Studium zu ermöglichen. Das erreichte sie, punktgenau. Zwei Wochen nachdem der jüngere Sohn seine erste Arbeitsstelle antrat, starb sie plötzlich. Anna-Elisabeth, diese willensstarke Frau, hervorragende Architektin und treusorgende Ehefrau, war meine gute Mutter. Diese Geschichte führt zu meinen inneren Beweggründen für Gleichberechtigung und Vereinbarkeit von Beruf und Familie.

DLR 2012. Die erste Führungsriege im DLR ist durchweg männlich. Und damit ist das DLR nicht allein unter den deutschen Arbeitgebern mit mehr als 6.000 Beschäftigten. Doch wovon reden wir eigentlich, wenn wir von Chancengleichheit sprechen? Eine Bestandsaufnahme: Ende des Jahres 2011 zählte das DLR etwas mehr als 7.000 Beschäftigte, 2.158 davon weiblich, fast ein Drittel! Der Anteil der Frauen sinkt auf dem Weg „nach oben“ von 24,3 Prozent in der 4. Führungsebene, 8,1 in der dritten und 4,3 in der zweiten Ebene und fällt schließlich auf null. Es ist längst keine Frage mehr, dass wir so Potenzial vergeuden. Und: Die Situation ist schlicht ungerecht. Längst haben Studien gezeigt, dass Frauen ihre Ausbildung mit besseren Noten abschließen und Mischteams oft effizienter arbeiten. Es bedurfte für mich auch nicht erst einer Bundeskanzlerin, um zu erkennen, dass Frauen Führungskompetenzen haben. Gleichwohl sehe ich auch Unterschiede. Diese gilt es zu erkennen und die jeweiligen Potenziale zu erschließen.

Mit dieser Intention haben wir im DLR in den letzten Jahren einen ganzen Katalog von Maßnahmen für Chancengleichheit aufgestellt und umgesetzt. Er umfasst mehr als ein Dutzend

Punkte: Wir sind mit dem Prädikat „Total E-Quality“ für eine an Chancengleichheit ausgerichtete Personalpolitik ausgezeichnet und für eine familienbewusste Personalpolitik zertifiziert mit dem „audit beruf und familie“. „Karrierestrategien für Frauen“ sind Teil unseres Graduiertenprogramms. Das DLR verfügt über flexible Arbeitszeitmodelle und die Chancengleichheit ist in unseren Leitlinien festgeschrieben. Und doch stagniert der Anteil weiblicher Führungskräfte seit Jahren bei um die 14 Prozent, sank 2012 sogar um 0,8 Prozentpunkte. – Brauchen wir eine Quotenregelung?

„Gleich“ steht in der Mathematik für zwei in ihrem Wert identische Ausdrücke. Doch Männer und Frauen sind nun mal nicht identisch – und auch die gesellschaftlichen Rahmenbedingungen, Kultur, Religion und Geschichte bleiben bei einer Quote unberücksichtigt. Auch wenn es mir als Bauingenieur nicht leicht fällt, zu sagen: Mathematik hilft hier nicht weiter. Die Gleichheit, die ich meine, sieht anders aus. Denn die Dinge sind komplexer. Natürlich spielen organisatorische Fragen eine Rolle. Es wirken aber auch Traditionen, individuelle Vorstellungen von Glück, Entwicklungen in der Familie oder auch das Infragestellen eines familienfeindlichen 12-Stunden-Tags, wie er bei Führungskräften nicht selten ist. Begeisterung für die Arbeit kann ebenso wie gutes Klima im Team einen Karrierewunsch beflügeln, Monotonie oder Neid ihn hemmen.

Wenn wir – und da meine ich Frauen wie Männer – im DLR mehr Frauen in Führungspositionen wollen, dann müssen wir aufmerksam, offen und veränderungswillig sein, ergründen, woran eine weibliche Karriere scheitert, abwägen, ob der naheliegende, einfache Weg wirklich der bessere ist oder ein unbequemer Schritt langfristig gewinnbringender sein kann. Die besten Bedingungen auf dem Papier bleiben wirkungslos, wenn Abteilungsleiter sich für ewig in ihrer Funktion einrichten, Männern in Elternzeit mit Argwohn begegnet wird, die Scheu vor einem anderen Zeitmanagement und vielleicht auch vor einem anderen Arbeitsstil den Blick auf die Chancen verstellt. – Der Akzent gehört auf die Chancen, nicht auf Gleichheit.

Nein, wir sind nicht mehr im vergangenen Jahrhundert. Wir haben viel erreicht. Nun müssen wir weiter an uns arbeiten, unsere Einstellung überprüfen, Türen öffnen, wenn sie klemmen, Mut haben und Mut machen zur Verwirklichung individueller Lebenspläne, auch wenn sie eben nicht ganz und gar gleich sind. Das beginnt bei der Festlegung des Gehalts und der Arbeitszeit über besondere Entwicklungs- und Qualifikationswege und reicht bis zu flexiblen Modellen, die den verschiedenen Vorstellungen und Möglichkeiten gerecht werden. ●

Regionalzug startet Zweitkarriere als Forschungslabor

Für besser klimatisierte und leisere Züge der Zukunft steht den DLR-Wissenschaftlern eine neue Forschungsplattform zur Verfügung: Der nie im Bahnbetrieb gewesene Triebwagen einer Talent-2-Regionalbahn des Zugherstellers Bombardier ist in der Nacht zum 20. März 2012 auf einem Tieflader ins DLR Göttingen gebracht worden.

Der 20 Meter lange und 34 Tonnen schwere Zug verfügt nicht nur über einen eigenen Antrieb, sondern hat auch Platz für 50 Personen. Somit können die Wissenschaftler maßstabsgetreu forschen und setzen unter anderem lebensgroße Puppen, sogenannte Thermodummies, ein. Diese haben die ungefähre Heizleistung und Temperaturverteilung eines Menschen und fungieren als Versuchspassagiere. Die Körpertemperatur der Reisenden könnte man auch für die Heizleistung in Zügen erschließen und so Energie sparen.

Einen eigenen Zug für diese Arbeiten einsetzen zu können, sei einmalig in der deutschen Forschungslandschaft, freute sich DLR-Strömungsforscher Siegfried Loose. Dass die Göttinger Aerodynamiker sich mit Zugforschung beschäftigen, hat Tradition:



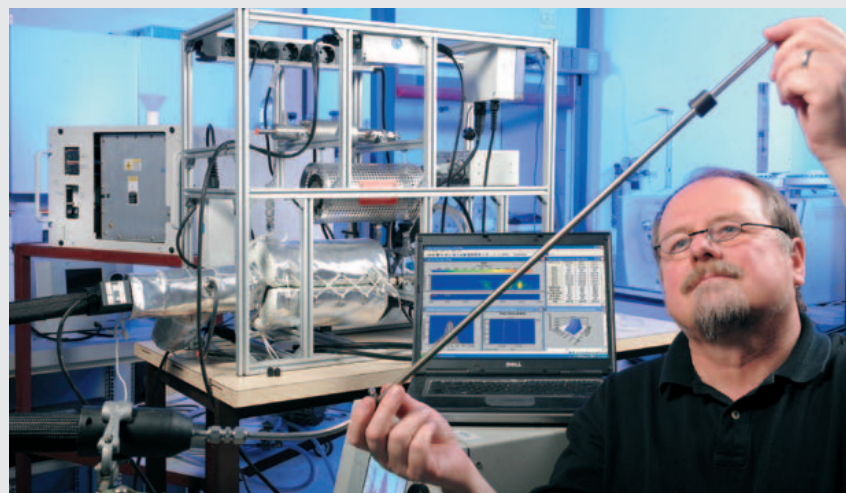
Die DLR-Forscher freuen sich über einen neuen Zugversuchsträger, der am 20. März 2012 von Bombardier in Berlin ins DLR Göttingen transportiert wurde

Bereits kurz nach Gründung der ältesten staatlichen Luftfahrtforschungseinrichtung der Welt untersuchten die Göttinger Wissenschaftler auch die Strömungseigenschaften von Dampflokomotiven. Heute zählt das DLR Göttingen zu einem der bedeutendsten europäischen Forschungsstandorte für die Aerodynamik von Schienenfahrzeugen. Auch die Luftströmung an Bord von Fahrzeugen ist Teil der Aerodynamik.

<http://s.DLR.de/4y2v>

Umweltfreundlichere Luftfahrt mit Biokerosin

Biosynthetisches Kerosin hat Langzeittests im Flug bestanden. Im Rahmen des Projekts burnFair testete die Lufthansa AG zusammen mit DLR-Wissenschaftlern eine fünfzigprozentige Bio-Kerosin-Mischung. Nach 1.187 Linienflügen des Airbus A321 zwischen Hamburg und Frankfurt steht fest: Der Einsatz mit Biokerosin verspricht sogar einen geringeren Treibstoffverbrauch, da das Gemisch eine höhere Energiedichte im Vergleich zum konventionellen Kerosin aufweist.



Abgasanalyse und Partikelmessung nach Verbrennung neuer Treibstoffe an einer mobilen Messeinrichtung des DLR

Während der Tests maßen DLR-Forscher des Instituts für Verbrennungstechnik die Emissionen direkt am Triebwerk. Dafür simulierten sie am Lufthansa-Flugplatz Fuhrsbüttel Start, Steigflug und Landeflug und positionierten eine Sonde hinter den Triebwerken mit und ohne Bio-Kerosin-Mischung. Die Abgase führten sie über einen Schlauch zu den Analysegeräten. Die Messungen zeigten, dass Biokerosin beim Schadstoffausstoß im Vergleich zu marktüblichem Kerosin mindestens gleichwertig ist.

Während der Tests stellte Lufthansa Technik zudem fest, dass die treibstoffführenden Komponenten zwischen Tank und Triebwerk auch nach Betreiben mit Biokerosin in sehr gutem Zustand waren.

<http://s.DLR.de/z858>

Das studentische Raketenprogramm STERN läuft an



Der Startkomplex in Kiruna in Nordschweden

Selbstständig Raketen entwickeln, bauen und fliegen können Studenten im Förderprogramm STERN (Studentische Experimenttal-Raketen). Das DLR-Raumfahrtmanagement in Bonn hat es ins Leben gerufen, um die technische und wirtschaftliche Stellung Deutschlands beim Betrieb und der Entwicklung von europäischen Trägersystemen wie beispielsweise „Ariane“ auch in Zukunft zu gewährleisten. Interessierte Hochschulen mit der Fachrichtung Luft- und Raumfahrttechnik können für eine Projektlaufzeit von zunächst drei Jahren Fördermittel beantragen.

Besonders anspruchsvoll wird das Projekt dadurch, dass es keine Beschränkungen hinsichtlich des verwendeten Antriebs und der Flughöhe gibt. Als Mindestvoraussetzung zählen jedoch das Erreichen der Schallgeschwindigkeit und eine Flughöhe von fünf Kilometern. Aus diesem Grund ist für die Raketenstarts das Esrange-Startgelände in Kiruna vorgesehen, von wo aus auch Höhenforschungsraketen abheben. Teil der studentischen Aktivitäten sind Computersimulationen zur Auslegung der gesamten Rakete einschließlich des Antriebs sowie die Durchführung von Windkanal- und Motorentests. Vorgesehen sind zudem Reviews zu unterschiedlichen Projektphasen, an denen auch die Mobile Raketenbasis des DLR sowie das DLR-Institut für Raumfahrtantriebe in Lampoldshausen teilnehmen. Die TU-Berlin sowie das ZARM-Institut der Universität Bremen gehören zu den ersten Teilnehmern. STERN ist langfristig angelegt, sodass Fördermittel jederzeit beantragt werden können.

<http://s.DLR.de/4rp3>

Technologien der Verkehrserfassung beim Champions League Finale getestet

Zum Finale der UEFA Champions League am 19. Mai 2012 in der Münchener Allianz-Arena testete das DLR ein Multisensorsystem zur Situations-, Infrastruktur- und Verkehrslageerfassung. Die Vorteile des Verbundsystems, das die Einsatzkräfte beim Verkehrsmanagement von Großereignissen unterstützen soll, sind neben einem detaillierten Lagebild die hohe Robustheit hinsichtlich der Witterungs- und Sichtbedingungen sowie größere Ausfallsicherheit.

Der Versuch fand im Rahmen des Projekts VABENE (Verkehrsmanagement bei Großereignissen und Katastrophen) statt. Dazu wurden Bilddaten von Satelliten mit einer Bodenauflösung von 0,5 Metern genutzt. Diese können unter anderem in der Vorbereitungsphase zur Planung von Verkehrsströmen oder Fluchtwegen sowie zur Analyse des Verlaufs der Veranstaltung dienen. Darüber hinaus wurden aus der Luft die Fahrzeug- und Besucherströme dynamisch erfasst. Das DLR-Kamerasystem war erstmals auf dem Elektro-Motorsegler „Antares DLR H2“ untergebracht, welcher einen leiseren Überflug und einen emissionsfreien Betrieb ermöglicht.

<http://vabene.DLR.de>



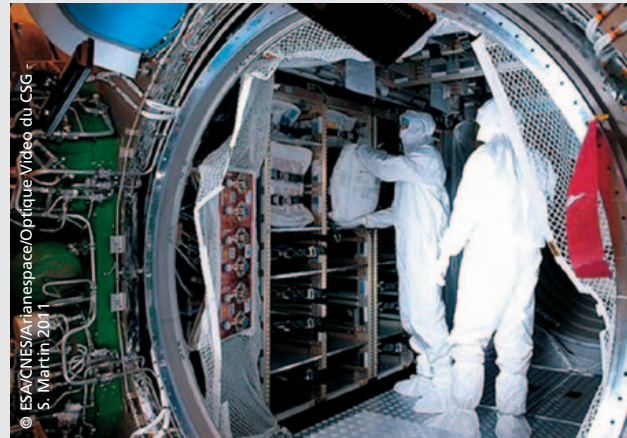
DLR-Test zur Verkehrserfassung aus der Luft. Die farbigen Geschwindigkeiten fließen in Verkehrssimulationen ein.

Halbzeit für den Raumtransporter ATV-3 an der ISS

Der schwerste, größte und komplexeste Raumtransporter ATV-3 hat die Hälfte seiner Verweildauer an der Internationalen Raumstation ISS absolviert. Nach dem Start an Bord einer Ariane5E5-Rakete am 23. März 2012 vom europäischen Weltraumbahnhof Kourou in Französisch-Guyana hatte ATV-3 am 29. März in rund 380 Kilometer Höhe an die ISS angedockt. Er brachte den sechs Astronauten Luft und Wasser, Nahrung und frische Kleidung sowie Ersatzteile und Werkzeug für Wartungsarbeiten, Medikamente und medizinisches Zubehör und führte 3,3 Tonnen Treibstoff mit. Dieser wird benötigt, um die ISS in der Umlaufbahn zu halten und um gegebenenfalls Weltraumschrott ausweichen zu können.

Nachdem der Frachtraum vollständig entladen ist, wird der Transporter am 27. August 2012 von der Raumstation ISS abkoppeln. Beladen mit Abfall der ISS wird er anschließend beim kontrollierten Wiedereintritt in die Erdatmosphäre verglühen.

www.esa.int/atv



Güterlagerung im Raumtransporter ATV-3

Docking des Raumtransporters ATV-3 live getwittert

Egal ob Raketen-Start, Docking oder Außenbordeinsatz: In Zeiten von Internet-Livestreams können viele Menschen in Echtzeit an Raumfahrt-Ereignissen teilhaben. Ein Besuch in einem Raumfahrt-Kontrollzentrum zu einem solchen Event blieb bislang nur ganz wenigen vorbehalten. Zum Andocken des europäischen Transportraumschiffs ATV-3 an die Internationale Raumstation ISS am 28./29. März 2012 luden die französische Raumfahrtagentur CNES und die Europäische Weltraumorganisation ESA jedoch 50 internationale Fans aus Sozialen Netzwerken ins ATV-Kontrollzentrum nach Toulouse ein. Dies war das vierte europäische Raumfahrt-Tweetup.

Die Teilnehmer erfuhren Details der ATV-Mission in Vorträgen und einem Science-Speed-Dating mit Forschern und Projektmanagern. Nach einem Besuch im ATV-Kontrollraum beantwortete ESA-Astronaut Paolo Nespoli Fragen der Teilnehmer. Er kommentierte auch die letzten Minuten des Dockings von ATV-3 an die ISS. Die Tweetup-Teilnehmer sorgten für einen großen Multiplikationseffekt des Themas und transportierten hautnah und authentisch Raumfahrt-Begeisterung. SpaceTweetups liegen weiterhin im Trend.



SpaceTweetups bestechen durch die ihnen eigene Atmosphäre. Hier twittern Raumfahrtfans aus dem ATV-Kontrollzentrum in Toulouse

Globaler Atlas für Sonnen- und Windenergie

Den ersten weltweiten Atlas für Sonnen- und Windenergie stellen die Internationale Agentur für Erneuerbare Energien IRENA und das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt auf dem Clean Energy Ministerial (CEM) Forum im April 2012 in London vor. Der Atlas bietet Wissen darüber an, wo Sonnen- und Windenergie am besten genutzt werden kann. Der Atlas ist eine Datenbank, die alle bestehenden Informationen in einem einfach zu benutzenden Portal zusammenführt. So entsteht eine frei zugängliche Wissensbasis, um die Potenziale von Sonne und Wind besser zu nutzen.

Mit den Informationen können Investoren die Nutzung von erneuerbaren Energien an unterschiedlichen Standorten besser einschätzen. Politikern und Wissenschaftlern dienen die Daten als Grundlage für effektive Maßnahmen zur Förderung und Markteinführung von neuen Technologien. Die Initiative wird von IRENA, der internationalen Agentur für Erneuerbare Energien mit Sitz in Abu Dhabi und Bonn und der Abteilung Systemanalyse und Technikbewertung im DLR-Institut für Technische Thermodynamik koordiniert. Das DLR trägt mit Fernerkundungsdaten und der Entwicklung des Webportals für die geografischen Daten zum Aufbau des Atlases bei.

Mehr zum Thema erfahren Sie im Beitrag „Entdecker der Möglichkeiten“ auf Seite 30 dieses Magazins.

<http://s.dlr.de/x5uq>



BLOGGEN ÜBERALL

<http://re-publica.de/12/>

Internet, Blogs, soziale Medien und digitale Gesellschaft waren Gegenstand der re:publica. Deutschlands größte Konferenz auf diesem Gebiet führte Anfang Mai 2012 in Berlin mehr als 4.000 Teilnehmer zusammen. DLR, ESA und NASA waren mit einer einstündigen Session „Twittern aus dem All für die digitale Öffentlichkeitsarbeit“ prominent vertreten. In der Session berichteten bloggende und twitternde Astronauten ebenso sowie PR-Profis aus Agenturen über die Rolle und die Nutzung sozialer Netzwerke in der Raumfahrtkommunikation. Wer diese Session verfolgen will: Es gibt einen Film davon unter <http://s.dlr.de/99zf>

WELTRAUMFORSCHUNG AUF'S OHR

www.raumzeit-podcast.de/

Raumzeit ist eine Serie von Gesprächen mit DLR- und ESA-Mitarbeitern, die Raumfahrt-Projekte Deutschlands und Europas mitgestalten. Die Gespräche werden alle zwei Wochen als Podcast veröffentlicht. Moderator Tim Pritlove, der das Format der Interview-Podcasts in Deutschland mitgeprägt hat, agiert aus Hörerperspektive: Begriffe werden hinterfragt, Sachverhalte erklärt. Im Blog wird jede Sendung zusammengefasst und durch eine Link-Liste zu verwendeten Begriffen sowie erwähnten Internetseiten ergänzt.

WISSENSCHAFT MIT DEM NUDELHOLZ

www.famelab-germany.de/

Drei Minuten haben die Akteure auf der Bühne, um Publikum und Fachjury zu begeistern. Im internationalen Wettbewerb FameLab, der seit 2011 auch in Deutschland ausgetragen wird, geht es um Wissenschaftskommunikation. Zur Präsentation ist nur erlaubt, was am Körper getragen werden kann – sei es ein Kontrabass, ein aufblasbarer Delphin oder die Hasenköpfe-Pantoffeln der kleinen Schwester. Der Sieger 2012 nutzte ein Nudelholz für seine Präsentation über molekulare Krebstherapie. Kurzfilme davon kann man auf der FameLab-Site anschauen.

ONLINE-NACHRICHTEN IM FLUSS

<http://rivva.de/>

Worüber redet das Internet? Der News-Aggregator Rivva liest in Sozialen Netzwerken mit, welche Online-Nachrichten von den Nutzern gerade besonders heiß diskutiert und weiterverbreitet werden. So lassen sich Debatten und relevante Web-Inhalte aus Blogs, Video-Plattformen und Nachrichtenportalen stets aktuell verfolgen.

SEHEN UND STAUNEN

www.expedition-licht.de/

Wissen über optische Technologien, abrufbar nach Zielgruppen und Regionen, präsentiert der Internetauftritt Expedition Licht. Ob Laser, Solarzellen oder Teleskope – die Themen sind vielfältig. Texte, Filme, Veranstaltungen – das Angebot ist groß. Die Kompetenznetze Optische Technologien bemühen sich auf einem hochspannenden Gebiet um den Nachwuchs. Übersichtlich und überraschend zugleich.



Backe, backe Bauteil

Er ist 20 Meter lang und hat einen Durchmesser von nahezu sechs Metern: der größte Forschungsautoklav der Welt. Seine Aufgabe: backen. Im DLR-Standort Stade arbeiten vier Wissenschaftler vom DLR-Institut für Faserverbundleichtbau und Adaptronik an und mit dem riesigen Backofen. An einem gigantischen Kuchen forschen sie dort natürlich nicht. Der Stader Autoklav ist ein Ofen der besonderen Art: er „backt“ Flugzeugbauteile aus kohlenstofffaserverstärktem Kunststoff, kurz: CFK.

Mit dem „grünen“ Autoklaven arbeiten DLR-Wissenschaftler am perfekt ausgehärteten Flugzeugbauteil. Und sie haben dabei die Umwelt im Blick.

Von Jasmin Begli



12. Juni 2011: Schwertransport über die A26; der größte Forschungsautoklav der Welt auf dem Weg zum DLR-Zentrum für Leichtbauproduktionstechnologie in Stade

„Es ist im Prinzip das gleiche Problem wie mit dem Kuchen oder der Pizza im heimischen Backofen“, erklärt DLR-Wissenschaftler Hakan Uçan das Projekt. „Qualität und Bräunungsgrad variieren. Wenn das eine Mal der perfekte Kuchen herausgekommen ist, so muss das beim nächsten Mal noch lange nicht wieder so sein.“ Ideal wäre es, den optimalen Backvorgang zu finden, der am Ende das perfekte Bauteil liefert. Dem sind die DLR-Wissenschaftler mit dem Autoklaven auf der Spur. Doch dazu später.

Was ist eigentlich ein Autoklav?

Ein Autoklav ist ein druckdichter Ofen, in dem unter anderem Bauteile aus CFK unter Vakuum ausgehärtet werden. CFK besteht aus Kohlenstofffasern, die in einen Kunststoff eingebettet sind. „Wir arbeiten hier mit Prepregs, das sind Fasern, die bereits mit dem Harz vorgetränkt sind“, erklärt Hakan Uçan. Roboter legen diese Prepregs in die Bauteilform. Dann wird es im Autoklaven ausgehärtet. Dazu stellen die Ingenieure Temperatur, Druck und Zeit nach Möglichkeit optimal ein. Je nach Kunststoff sind hierbei Temperaturen zwischen zehn und 400 Grad Celsius und ein Druck zwischen drei und 20 bar notwendig. Mittels Wärme bringen sie das Material im Autoklaven in die optimale Konsistenz und leiten die Aushärtungsreaktion ein. Der hohe Druck bei gleichzeitig evakuiertem Bauteil hilft dabei, Luft zu entfernen und die Laminatschichten miteinander zu verpressen.

Der Autoklav am DLR-Standort Stade ist aber nicht nur der größte Forschungsautoklav der Welt, er ist gleichzeitig eine Plattform zur Erprobung neuer Technologien im Bereich des Faserverbundleichtbaus. „Anhand von Demonstrationsbauteilen im industriellen Maßstab ist unser Autoklav in der Lage, neue Technologien auf dem Gebiet der Fertigung von Flugzeugbauteilen zu erforschen und zu testen“, sagt DLR-Forscher Michael Kühn stolz. Er ist der Projektleiter im Autoklaventeam. „Mit unserem Autoklaven können wir Faserverbundbauteile von höchster Qualität und vor allem von enormer Größe herstellen. Teile eines Flugzeugrumpfes oder ein ganzes Seitenleitwerk passen ohne Probleme in diese Röhre“, verdeutlicht er die enorme Grö-

Das Stader Autoklav-Team ist entschlossen, das perfekt ausgehärtete Bauteil zu „backen“

ße der Anlage. Außerdem – und das ist eine weitere Besonderheit – arbeitet der Autoklav relativ umweltschonend.

Umweltfreundlich produzierte Flugzeugteile

CFK gilt in der Luft- und Raumfahrt als das Material der Zukunft. Es besitzt eine deutlich geringere Dichte als Aluminium und ist dennoch genauso stabil. Weil das Material so wenig wiegt, wird auch das Gewicht des Flugzeugs vermindert. Es fliegt „leichter“ und verbraucht daher geringere Mengen Kerosin. Das wiederum schont die Umwelt – eines der wichtigsten Ziele der Forschung im DLR. Außerdem spart es Geld. „Jedes Kilo, das zusätzlich in die Luft geht, kostet 5.000 Euro“, erklärt Jens Bölke. „In der Raumfahrt sogar noch wesentlich mehr.“ Aus diesem Grund ersetzen Flugzeughersteller immer mehr Aluminiumteile durch Teile aus CFK.

Der steigenden Verwendung und dem damit steigenden Bedarf stehen heute noch Fertigungsverfahren gegenüber, die zu einem großen Teil von Hand durchgeführt werden. Das erhöht die Kosten. Flugzeughersteller benötigen daher neue und dem Bedarf angepasste Herstellungsverfahren. Nur mit einer entsprechend weiterentwickelten Produktionstechnologie steht dem ökonomisch und ökologisch verträglichen Flugzeugbau der Zukunft nichts mehr im Weg.

Was den Autoklaven „grün“ macht

Zurück zum Backvorgang im Autoklaven. „Mit dem perfekt gebackenen Bauteil schlagen wir gleich mehrere Fliegen mit einer Klappe“, erläutert Hakan Uçan. „Zum einen gelingt es uns, Bauteile von immer derselben, optimalen Qualität herzustellen. Zum anderen wird der Aushärtungsprozess verkürzt, was wiederum die Energiekosten senkt.“

Und das geht so: Die im Autoklaven stattfindenden Prozesse haben einen Einfluss auf die Eigenschaften des zum Aushärten in ihm befindlichen Materials und auf die Geometrie des Bauteils. Oft bleibt das CFK-Bauteil sehr lange im Ofen, damit gewährleistet ist, dass das Material am Ende komplett ausgehärtet und nicht an manchen Stellen noch zu weich ist. Um dies auszuschließen und am Ende das perfekt gebackene Bauteil zu erhalten, misst das Autoklav-Team im Projekt OnQA (Online Qualitätssicherung im Autoklaven) mittels Sensoren alle direkt messbaren Daten, die Aufschluss über die Qualität des Bauteils geben.

„Messbare Qualitätsparameter sind die Temperatur, der Druck und der Härtungszustand“, erklärt Nico Liebers. Der studierte Maschinenbauer ist verantwortlich für die Sensoren. „Diese Daten werden während des gesamten Aushärtungsprozesses erfasst, bewertet und in einer zentralen Datenbank gespeichert, um immer auf das Wissen zurückgreifen zu können.“ Denn bei der bisherigen Autoklaventechnologie beruhen diese Parameter oft auf Erfahrungswerten, die die Forscher nur durch immer neue Versuche verbessern können. Zwar fährt die Steuerung derzeitiger Autoklaven die vorher vorgegebenen Temperatur- und Druckzyklen ab, mehr ist aber nicht drin. Es gibt bisher keine Möglichkeiten, bei einer Abweichung in der Qualität des Bauteils Gegenmaßnahmen zu ergreifen. Das Bauteil wird auch in dem Fall, in dem es aufgrund schlechter Qualitätseigenschaften später nicht genutzt werden kann, zu Ende produziert. Das kostet unnütz Backzeit und damit auch Energie – bis jetzt.

Mit dem „grünen“ Autoklaven des DLR erkennen die Wissenschaftler vorzeitig, wenn ein Bauteil nicht so wird, wie es eigentlich werden sollte. Das heißt, dass sie zu jedem Zeitpunkt der Fertigung – unter Berücksichtigung des bis dahin stattgefundenen Verlaufs – eine Aussage über die Beschaffenheit des Bauteils treffen können.

Besser als einer sind zwei Autoklaven

Doch es sind nicht die Sensoren allein, die Aussagen über das Bauteil möglich machen. Trotz aller messbaren Eigenschaften ist eine Aussage niemals umfassend zu treffen: die letztlich erreichte Güte. Hierzu braucht es mehr. Den „virtuellen Autoklaven“ nämlich. „Um die Qualität der Bauteile sicherzustellen und immer gleich zu haben, müssen wir die Prozesse im Autoklaven verstehen“, verdeutlicht Hakan Uçan die Situation. „Der virtuelle Autoklav liefert uns, neben den Eigenschaften, die mit Sensoren messbar sind, Informationen über die Strömungs- und Wärmeübertragung während des Backvorgangs. Auch die Reaktion der Faserverbunde wird dargestellt.“ Möglich wird das durch Simulation eben dieser Vorgänge.

Neben dem real existierenden, riesigen Autoklaven gibt es also auch ein realitätsnahes Modell im Rechner. Das hat den Vorteil, das gesamte Aushärtungsverfahren darstellen zu können. Zumindest was das optimale Bauteil angeht, blicken die DLR-Wissenschaftler mit dem virtuellen Autoklaven also in die Zukunft. „Im Grunde zeigt uns der virtuelle Autoklav, was in der nächsten Zeit im echten Autoklaven passieren wird“, sagt

Hakan Uçan. „So können wir voraussehen, was als nächstes mit dem Teil passieren wird.“ Diese Fähigkeit ermöglicht es den DLR-Forschern, das Bauteil in der gewünschten Qualität bei geringstmöglicher Zeit zu backen oder – sollte das Teil nicht so werden wie gewünscht – den Backvorgang vorzeitig zu unterbrechen. Das reduziert Fertigungszeiten und Kosten von CFK-Bauteilen und so auch die Umweltbelastung.

Das Geheimnis des Wissens: Die MASTERBOX

Damit dies alles möglich ist, brauchen die Wissenschaftler einen Ort, an dem sie ihr Wissen und alle gesammelten Daten speichern können. Quasi ein Autoklavengehirn. „In einem übergeordneten Rechnersystem erfassen und analysieren wir alle Daten der Aushärtungen, sei es von den Sensoren oder von den simulierten Vorgängen“, erklärt Hakan Uçan. „MASTERBOX“ nennen dies die DLR-Wissenschaftler. Diese MASTERBOX ist es auch, die anhand aller zur Verfügung stehenden Daten die Entscheidung vorgibt, wann und in welcher Form Gegenmaßnahmen einzuleiten sind oder ob der Vorgang vorzeitig abgebrochen werden sollte.

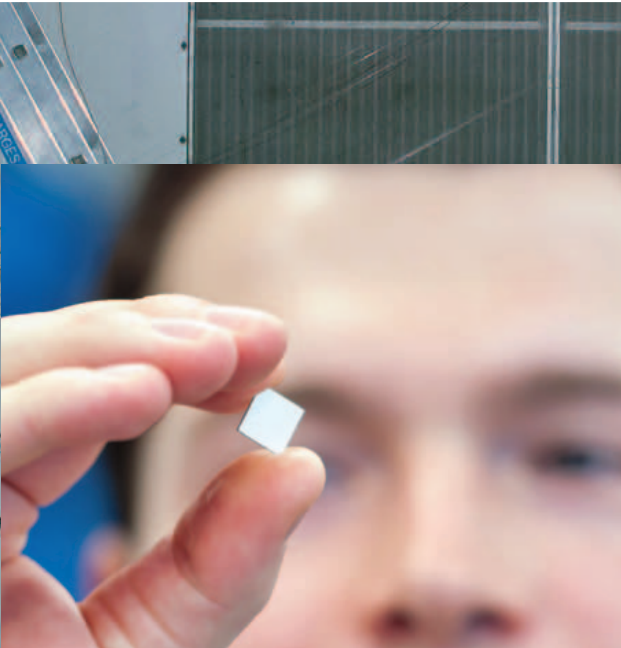
All das zusammen macht den Stader Autoklaven „grün“: Neben dem echten, in dem mittels Sensortechnik alles im Autoklaven Messbare gemessen wird, gibt es den virtuellen Autoklaven, der die eigentlich nicht messbaren Daten per Simulation liefert. All diese Erfahrungen helfen der MASTERBOX, dem „Gehirn“ des Autoklaven, die richtige Entscheidung zu treffen und sie dem Autoklaven mitzuteilen, der sie dann automatisch ausführt. Zusätzlich wird dieser Vorgang in der zentralen Datenbank, dem Netzwerk, festgehalten. All das geschieht, um es am Ende doch noch zu erhalten: das perfekt gebackene Bauteil. ●

Weitere Informationen:

<http://s.DLR.de/g2w9>



Alles auf dem Screen: Hakan Uçan entwickelt die dynamische Autoklavsteuerung. Sie wird den Prozess des Aushärtens von Bauteilen aus CFK im Autoklaven optimieren.



Winzige Sensoren messen, wie weit die Bauteile ausgehärtet sind



Jens Bölke guckt in die Röhre: Im oberen Bereich des Autoklaven soll eine Infrarotkamera die Temperaturverteilung während des Prozesses aufnehmen



Nico Liebers brennt auf genaue Ergebnisse: Seine Sensoren liefern wichtige Erkenntnisse über das Geschehen in dem riesigen „Backofen“

Technische Daten des „grünen“ Autoklaven

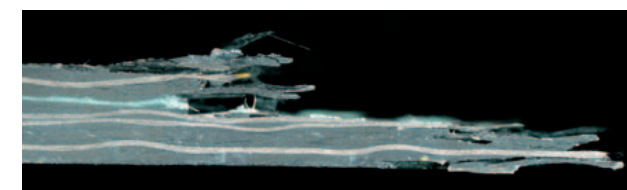
Beschickungsdurchmesser:	5,8 Meter
Beschickungslänge:	20 Meter
Druck:	10 bar
Maximale Temperatur:	420 Grad Celsius
Gesamtgewicht:	circa 200 Tonnen

Reparatur wie im Fluge

Auch in der Luftfahrt spielt es eine entscheidende Rolle – das Gewicht. Jedes Gramm, das weniger in die Luft geht, spart Kerosin. Das wiederum schont die Umwelt und den Geldbeutel. Demzufolge interessieren sich die Flugzeughersteller immer mehr für Flugzeugbauteile aus kohlefaserverstärktem Kunststoff (CFK). Mindestens genauso stabil wie das bisher im Flugzeugbau herkömmliche Aluminium, ist es um einiges leichter. Doch neue Materialien werfen auch neue Fragen auf. Beispielsweise: Was passiert, wenn solche Bauteile zu Schaden kommen? In Braunschweig haben DLR-Wissenschaftler eine Maschine entwickelt, die die Reparatur von Flugzeugbauteilen aus Kunststoff auf einfachem Wege möglich macht.

Wenn Nieten nicht taugen, dann wird geklebt.
Doch das muss gekonnt sein.

Von Jasmin Begli



Dehnung bis zum Bruch: Durch Zugprüfung ermitteln die DLR-Wissenschaftler die Qualität der Reparaturen. Die Dehnungen werden im Versuch mit Dehnmessstreifen und dem berührungslos arbeitenden Messsystem ARAMIS ermittelt. Es werden Schnitte oder sogar komplette Reparaturen bis zum Bruch belastet. Anschließend beginnt die Spurensuche: Mittels Digitalmikroskopie (Abbildung) wird nach der Versagensursache geforscht und die Güte der Klebung bewertet.

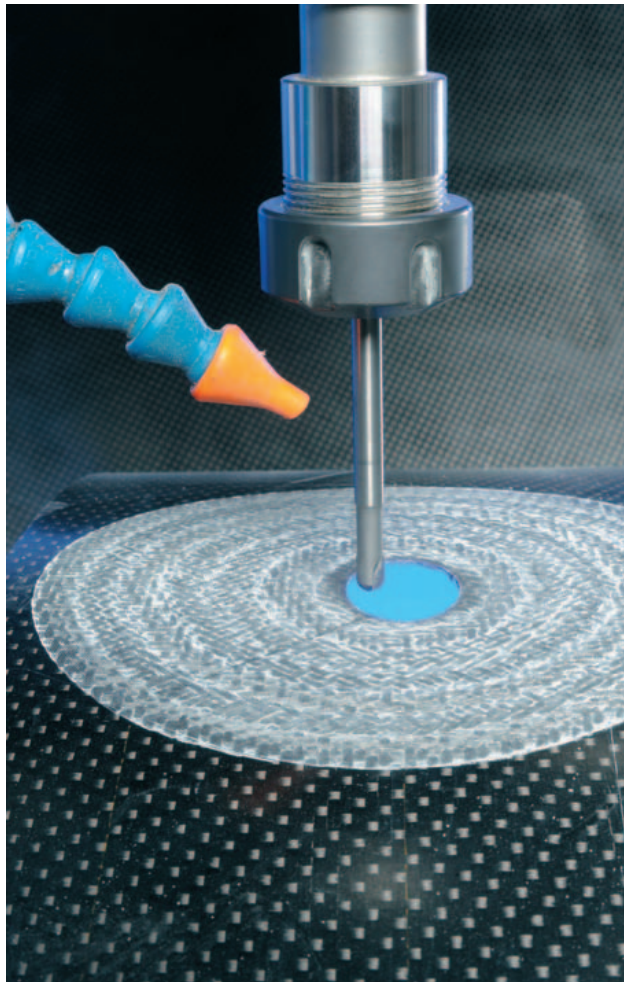
Neue Materialien brauchen auch neue Reparaturverfahren. Forscher des DLR-Instituts für Faserverbundleichtbau und Adaptronik arbeiten daran.

„Immer mehr Teile in Flugzeugen bestehen aus CFK“, sagt Dirk Holzhüter, wissenschaftlicher Mitarbeiter am DLR-Institut für Faserverbundleichtbau und Adaptronik und Erfinder einer ganz besonderen Maschine. „Demnächst sind der Rumpf und die Flügel aus CFK, und wenn mehr Teile verbaut werden, ist auch die Fläche für eventuelle Beschädigungen größer.“ Die drei Feinde eines „heilen“ Flugzeugs sind neben technischem Versagen die Piloten, das Wartungspersonal und die Umwelteinflüsse. So muss ein Flugzeug beispielsweise im Schnitt mindestens einmal pro Jahr einen Blitzschlag aushalten.

Nieten versus Kleben

Ist ein Flugzeug an seiner Außenhaut beschädigt, wird es in 95 Prozent der Fälle repariert. Dass Teile komplett ausgetauscht werden, ist eher selten. „Bei der Reparatur unterscheiden wir zwei Verfahren“, erklärt Dirk Holzhüter. „Die gebolzte Reparatur und die geklebte.“ Bei der gebolzten Reparatur schneiden die Techniker den Schaden aus und überbrücken das so entstandene Loch an Ober- und Unterseite mit einer Art Flicker, also einem neuen Materialteil. Dieses wird mit Nieten befestigt. Die gebolzte Reparatur hat sich gut bewährt und wird an den bisherigen Flugzeugen aus Aluminium erfolgreich angewendet. Es ist relativ leicht zu lernen und ein sehr sicheres und haltbares Reparaturverfahren.

Wie gesagt: die gebolzte Reparatur ist die ideale Art der Reparatur für Flugzeugteile aus Metall. Nicht aber für kohlefaserverstärkten Kunststoff. Aufgrund anderer Materialeigenschaften ist diese Methode für Reparaturen an solchen Bauteilen nicht so gut geeignet, denn rund um die Nieten weitet sich der



Früher wurde die zu reparierende Stelle von Hand geschliffen, heutzutage wird sie gefräst

Kunststoff am Loch bei großer Last zu stark. Nach einer gebolzten Reparatur erhält das Bauteil aus CFK nur 60 bis 65 Prozent seiner ursprünglichen Festigkeit zurück. Ausgeglichen wird dies durch stärkere Materialschichten, was wiederum dem eigentlich positiven Effekt des Kunststoffs, der Leichtigkeit, entgegenwirkt. Ein weiteres Manko ist, dass die angenieteten Platten auftragen, was negativen Einfluss auf die Aerodynamik des Flugzeugs hat. Außerdem wird das so „geflickte“ Bauteil auch von den Passagieren als solches erkannt, was das Sicherheitsgefühl des einen oder anderen beeinträchtigen kann.

Handwerkliches Geschick gefragt

Hier kommt die zweite Reparaturvariante ins Spiel: die geklebte. Die Entfernung des Schadens erfolgt ebenfalls durch Ausschneiden. Um allerdings eine optimale Haltbarkeit der Verklebung zu erhalten, erfolgt dies nicht in einfacher Form, sondern es wird „geschäftet“. Beim Schäften wird der Schaden kreisförmig und mit schräg verlaufender Kante ausgeschnitten. Quasi in Trichterform. Auf diesen angeschrägten Rand wird dann unter Wärmeeinwirkung eine speziell beschichtete, selbstklebende Folie aufgebracht und das Loch lagenweise mit den entsprechend passenden, neuen CFK-Stücken verklebt. Gemeinsam wird das Ganze anschließend unter Druck ausgehärtet. Was entsteht, ist ein sogenannter Patch.

Da die Belastung nicht mehr wie beim Nieten an mehreren Einzelpunkten erfolgt, sondern gleichmäßig über den verklebten Rand getragen wird, ist dieses Verfahren perfekt für Teile aus Faserverbund. Bei optimaler Klebranddicke erlangen nach einer solchen Reparatur Faserverbunde eine Materialfestigkeit von 90 bis 95 Prozent zurück. Dabei ist der Winkel der Schäftung von entscheidender Bedeutung: Je stärker die Stelle am Ende belastet wird, desto flacher sollte der Winkel sein, denn umso haltbarer ist der eingeklebte Patch. Steile Winkel hingegen eignen sich für Stellen, die nicht so stark belastet werden. Das reparierte Loch ist am Ende bündig zur Oberfläche, man sieht es nicht und auch die Aerodynamik wird nicht negativ beeinflusst.

„Das Klebverfahren erlaubt auch Reparaturen sehr dünner Strukturen und wird bisher bereits für Landeklappen und Triebwerksverkleidungen oder bei der Reparatur von Hubschraubern eingesetzt“, erklärt Dirk Holzhüter. Doch wo Licht ist, ist immer auch Schatten. „Nachteilig ist der hohe Aufwand beim Schäften. Nur speziell ausgebildete Techniker können dies und müssen es bisher per Hand machen“, so der DLR-Wissenschaftler weiter. Dieser hohe manuelle Aufwand, der nicht nur sehr zeit- und kostenintensiv ist, sondern auch Einfluss auf die Qualität der Reparatur hat, ist abhängig von Faktoren wie der Krümmung des Bauteils, dem Lagenaufbau und ganz besonders vom Erfahrungsstand des jeweiligen Technikers. „Man sagt, dass man an der Schäftung den Techniker erkennt, der sie angefertigt hat, quasi wie bei einer Handschrift“, wirft Dirk Holzhüter leise lächelnd ein. Schicht für Schicht schleifen also diese Techniker den angeschrägten Rand. Machen sie einen Fehler, müssen sie neu ansetzen und das Loch dementsprechend vergrößern.

Bei ebener Fläche dauert dieser Prozess eine halbe bis eine Stunde. Hat das defekte Bauteil aber eine Wölbung, wie es bei Flugzeugbauteilen häufig der Fall ist, verlängert sich die Zeit je nach Größe der Schadstelle auf vier bis fünf Stunden.

Die Maschine soll es richten

Damit das Schäften den Prozess nicht mehr so stark beeinflusst, hat das DLR-Institut für Faserverbundleichtbau und Adaptronik in Braunschweig den Prozess automatisiert. Eine 45 Kilogramm schwere Maschine soll es richten. „Die Maschine wird zum Flugzeug getragen und dort mit Hilfe von Saugnäpfen angesetzt“, erläutert Holzhüter das Prozedere. Das bedeutet,



Dirk Holzhüter (links) und Alexander Pototzky, Student der TU-Braunschweig, bei der Arbeit: Im DLR-Labor testen sie die neuartige Reparaturanlage für Flugzeugbauteile aus Kunststoff auf Herz und Nieren

dass die Teile nicht abgebaut werden müssen, Schäden können direkt am Flugzeug repariert werden. Wie beim Fräsen üblich, müssen die Techniker dann ihre gewünschten Parameter, wie die Größe des Schadens und den Schäftwinkel in den Rechner eingeben, das heißt, auch eine Spezialausbildung wird für das Schäften per Maschine nicht mehr benötigt. Bisher konnte per Hand außerdem immer nur eine runde oder ellipsenähnliche Form geschäftet werden. Mit der Maschine dagegen besteht Formfreiheit. Und das zuvor per Hand durchgeführte Schleifen wird durch das Fräsen eher zu einem Schneiden.

„Nachdem wir die Maschine an der beschädigten Stelle angebracht haben, rastert ein Lasersensor das Bauteil und vermisst es“, erklärt Dirk Holzhüter. „Aus diesen Daten wird ein digitales Abbild der beschädigten Stelle geschaffen, damit die Reparaturmaschine genau weiß, wo sie arbeiten muss“. Mit Hilfe dieses virtuellen Modells programmiert sie sich auf die jeweilige Reparatur und los geht's. Ist das Fräsen beendet, scannen Laser die reparierte Stelle erneut und kontrollieren die Qualität der Schäftung.

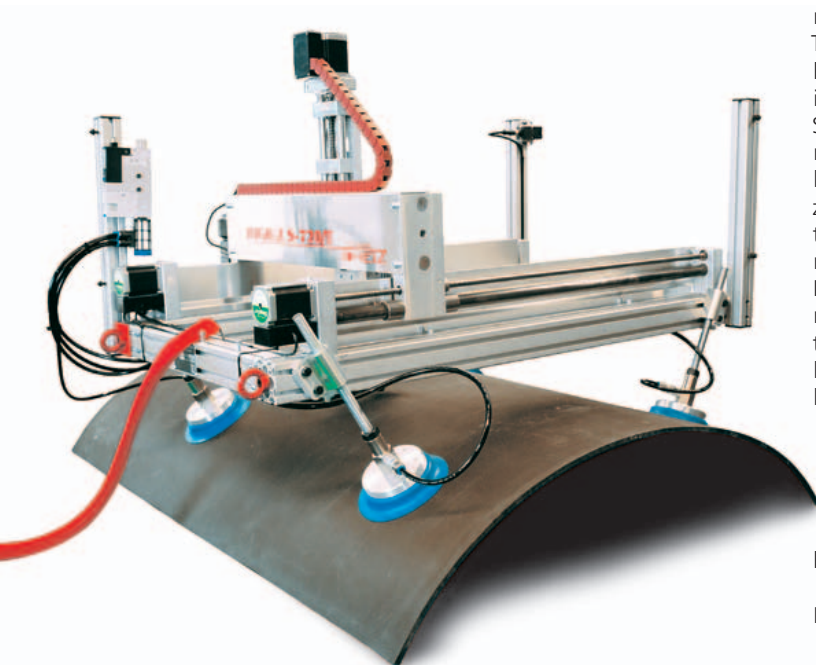
„Die Arbeitszeit der Maschine beträgt mit Auf- und Abbau zwei Stunden. Die reine Bearbeitung an der Schadstelle beläuft sich im Schnitt immer auf etwa eine Stunde. Das ist eine Zeiterparnis um Faktor zwei bis drei“, hebt Dirk Holzhüter die Vorteile

der Maschine hervor, die er im Rahmen seiner Dissertation mit der Unterstützung des Studenten Alexander Pototzky entwickelt hat. „Außerdem haben die Schäftungen immer dieselbe verlässliche Qualität.“

Insgesamt haben Dirk Holzhüter und sein „Assistent“ zwei Jahre für die Entwicklung dieser Art des Reparierens gebraucht – von der Idee bis hin zum Endprodukt. Das sind etwa 1.200 Arbeitsstunden. Im nächsten Jahr wird Holzhüter seine Dissertation abgeben, die Entwicklung der Schäftmaschine ist ein Teil davon. Die Idee der Anlage hat aber bereits jetzt Abnehmer gefunden: ein mittelständisches Konsortium aus drei Firmen entwickelt die Maschine zur Marktreife weiter.

So hat auch das „neue“ Material sein ideales Reparaturverfahren gefunden. Dem Einsatz von immer mehr Teilen aus CFK im Flugzeugbau steht also von nun an – zumindest, wenn es um Reparaturen geht – nichts mehr im Wege. Nur ein guter Name müsste für die Schäftmaschine vielleicht noch gefunden werden. ●

Weitere Informationen:
www.DLR.de/FA



Mobile Schäfteinheit – entwickelt von den Braunschweiger Wissenschaftlern. Die Anlage kann in kürzester Zeit auf einer beliebigen Struktur positioniert werden. Die Software führt den Benutzer durch die Schritte des Oberflächenscannens, der Reparaturdefinition sowie des Fräsens der Schäftung.

„Die Aufbruchsstimmung steckt an“

Im DLR Augsburg dreht sich alles um Leichtbauproduktionstechnologie. Das gleichnamige Zentrum hat ebenso wie das ZLP Stade Innovationen für den Flugzeugbau im Visier. Professor Dr. Michael Kupke leitet den Standort des ZLP in Augsburg. Er kommt aus der Industrie und war zuletzt bei Airbus für die Entwicklung von Rumpfstrukturen künftiger Flugzeuge verantwortlich. Für das DLR-Magazin befragte ihn Tanja Kessler, die in Augsburg unter anderem mit der Öffentlichkeitsarbeit betraut ist.

Interview mit Prof. Dr. Michael Kupke zum Ausbau des Zentrums für Leichtbauproduktionstechnologie in Augsburg

Herr Kupke, Sie bauen eine neue DLR-Einrichtung aus – was steht momentan an?

Zu meinen ersten Aufgaben gehört der Aufbau des Personalstamms und der Infrastruktur. Als ich im Dezember 2011 begann, waren wir 16 Leute. Inzwischen sind wir 24 und zum Ende der Aufbauphase wollen wir etwa 40 sein. Parallel dazu schaffen wir die notwendige Infrastruktur, um industrienahe forschen zu können. Wir bauen in Nachbarschaft zur Universität Augsburg und zur Fraunhofer-Forschungsgruppe für Funktionsintegrierten Leichtbau ein entsprechend ausgestattetes Gebäude. Bis zum Einzug dort arbeiten wir in angemieteten Büros und Hallenflächen, wo schon eine Roboteranlage installiert ist. Außerdem ist es mir in der Startphase besonders wichtig, unsere strategische Ausrichtung immer wieder zu prüfen, intern und extern abzustimmen und gegebenenfalls anzupassen. Das passiert gemeinsam mit Herrn Prof. Voggenreiter, dem Direktor des DLR-Instituts für Bauweisen- und Konstruktionsforschung in Stuttgart. Und vor allem mit dem ZLP Stade stimmen wir uns gut ab, damit wir uns optimal ergänzen.

Das ZLP am Standort Augsburg ist dem Stuttgarter DLR-Institut für Bauweisen- und Konstruktionsforschung angegliedert. Wie ergänzt das ZLP Augsburg dessen Kompetenzprofil?

In Deutschland werden Innovationen zu häufig nicht in Produkte umgesetzt. Es kostet Zeit und Geld, wenn eine Innovation den Weg ins industrielle Umfeld und letztlich ins Produkt finden soll. Hier knüpfen wir an, ergänzen das Kompetenzprofil unseres Instituts in Stuttgart um die automatisierte Produktion und bringen die Technologie bis zu einer gewissen Reife. So senken wir für die Unternehmen das Risiko, dass eine Innovation sich als nicht umsetzbar herausstellt. Dazu greifen wir einerseits Technologieentwicklungen auf, andererseits geben wir, wie auch das ZLP in Stade, Anforderungen aus der Produktionstechnologie an die Kollegen in Stuttgart, Augsburg, Köln und Braunschweig zurück. Idealerweise werden wir simultan an der Entwicklung von CFK-Hochleistungsstrukturen arbeiten, die automatisiert hergestellt werden können.

Im Süden Deutschlands beschäftigt sich das ZLP Augsburg mit kohlefaserverstärkten Kunststoffen (CFK) für den Flugzeugbau, im Norden ist es das ZLP Stade. Was ist in diesem Bereich aktuell die größte Herausforderung?

Auf CFK-Werkstoffen liegt ein hoher Kostendruck. Das ist eine ganz wichtige Motivation zum Aufbau des gesamten ZLP. Klarer Auftrag ist, dass wir in enger Zusammenarbeit mit den Kollegen in Stade Strategien dafür erarbeiten, wie große CFK-Komponenten für Flugzeuge kostengünstig und in hoher Qualität hergestellt werden können.

Sie waren zehn Jahre Ingenieur bei Airbus – nun wechseln Sie in die Forschung. Weshalb haben Sie sich für das DLR entschieden?

Bei Airbus habe ich an verschiedenen Forschungsprojekten gearbeitet und bin währenddessen immer näher ans Produkt herangerückt. Es reizt mich, diese Erkenntnisse in die Forschung zu tragen. Außerdem kann ich beim ZLP Augsburg etwas Neues aufbauen. Es gibt viel Gestaltungsspielraum und Raum für Ideen. Außerdem ist für mich wichtig, nun einen gesellschaftlichen Auftrag zu erfüllen. In einem Industrieunternehmen sorgt man dafür, dass es Geld verdienen kann. Beim DLR kann ich Innovationen für die Gesellschaft vorantreiben und Wissen vermitteln. Ich bin in der Lehre an der Universität Augsburg tätig und kann bei der Ausbildung der Studenten mitwirken. Nicht zuletzt haben mich das Team und Herr Prof. Voggenreiter hierhergelockt. Deren Aufbruchsstimmung steckt an.

Wo sehen Sie das ZLP Augsburg in fünf Jahren?

Wir werden unser komplementäres Technologieportfolio in Augsburg wie in Stade aufgebaut haben und damit im Wechselspiel mit den entsprechenden DLR-Instituten alle wichtigen CFK-Kompetenzen abdecken, um diese gemeinsam unseren Kunden anzubieten. In fünf Jahren sind wir fest eingebunden in ein Innovationsnetzwerk aus Forschung und Industrie und können mit der bestehenden Infrastruktur und unserer Roboteranlage Produktionsprozesse flexibel und in realistischer Größenordnung abbilden, DLR-Innovationen vorantreiben und deren industrielle Umsetzung unterstützen. ●



Prof. Dr. Michael Kupke

- geboren 1967 in Berlin
- Maschinenbau-Studium an der TU Hamburg-Harburg
- Promotion auf dem Gebiet der Faserverbundwerkstoffe
- Ab 2001 Entwicklungsingenieur bei der Airbus Operations GmbH in Bremen und Hamburg, schließlich Abteilungsleiter und verantwortlicher Strukturarchitekt für neue Flugzeugrumpfe.

Das Zentrum für Leichtbauproduktionstechnologie ist eine nationale Einrichtung des DLR mit Standorten in Stade und Augsburg, an denen komplementär neue Technologien zur Produktion von Faserverbundkunststoffen entwickelt werden. Hier im Bild: der Neubau des ZLP in Augsburg.



Den Wirbeln bleibt die Luft weg

Flugzeuge umweltfreundlicher zu gestalten und damit Treibstoff zu sparen, ist eines der Forschungsziele des DLR. Möglichst gleichmäßige Luftströmung um das Flugzeug ist ein Weg dahin – das verringert den Widerstand. Dr. Arne Seitz und Matthias Horn nehmen für dieses Ziel eine Art Staubsauger zur Hilfe: Er saugt am Leitwerk Luft ab, sodass die verbliebene Luft möglichst gleichmäßig strömen kann.

Mit Sauger und Poren in der Außenhaut zur perfekten Flugzeugumströmung

Von Lena Fuhrmann

Das Problem liegt in der Luft: Möglichst gleichmäßig soll sie über das Flugzeug strömen und so der Bewegung wenig Widerstand bieten. Doch die Realität sieht anders aus: Sobald Luft auf das Flugzeug trifft, verwirbelt sie. Turbulente Strömung ist der Fachausdruck. „Unser Ziel ist es, dass die Strömung möglichst laminar, also gleichmäßig, und wenig turbulent ist. Verkehrsflugzeuge werden aufgrund ihrer hohen Geschwindigkeit leider fast vollständig turbulent umströmt“, erklärt Dr. Arne Seitz vom Braunschweiger DLR-Institut für Aerodynamik und Strömungstechnik. Seit 2009 richtet er als Projektleiter von LamAiR (Laminar Aircraft Research) mit seinem Team sein Augenmerk auf das Seitenleitwerk eines Fliegers, also jenes Teil am Flugzeug-Heck, das bei Linienfliegern meist mit dem Logo der Fluggesellschaft versehen ist. Mit einer Art Sauger soll ein Teil der Luft an der Nase des Leitwerks weggeführt werden – in Kombination mit einer besonderen Form des Leitwerks könnten so rund 40 Prozent des Bauteils laminar umströmt werden. „Wir sprechen hier von einer hybriden Laminarhaltung“, erläutert Seitz. „Das bedeutet, dass wir versuchen, die Laminarität zu erhalten – und das mit Hilfe von zwei Dingen: der Absaugung zum einen und der Form der Außenhaut zum anderen.“

Idee mit langer Geschichte

Die Idee, Laminarität durch Absaugung zu erreichen, führt in die Vierzigerjahre zurück. Das X-21 Programm der NASA befasste sich mittels eines Forschungsflugzeugs mit dieser Thematik – der Schweizer Werner Pfenniger, wissenschaftlicher Leiter des X-21-Programms, konnte rund 20 Jahre später gemeinsam mit seinem Team im Flugversuch demonstrieren, dass diese Technik grundsätzlich funktioniert.

Künstlicher Sog an der Grenzschicht

Ein Schiff schiebt Wasser vor sich her – bei einem Flugzeug ist das mit der Luft nicht anders. Will man das in Zahlen fassen, hilft folgende Annahme, führt Seitz' Kollege Matthias Horn vom Stuttgarter DLR-Institut für Bauweisen- und Konstruktionsforschung aus: „Im Prinzip fliegt ein Flugzeug durch stehende Luft, nur um den Flieger herum ist die Luft in Bewegung. Diese Grenzschicht zwischen der stillen Luft und dem Flugzeug ist wenige Millimeter dick. Wir haben also auf der einen Seite eine Geschwindigkeit von null Stundenkilometern und direkt am Flugzeug von rund 800 Stundenkilometern“ In der Grenzschicht findet auch der Geschwindigkeitsabbau statt. Im Projekt LamAiR soll gezielt ein Teil dieser Grenzschicht abgesaugt werden.

Dr. Arne Seitz und Matthias Horn prüfen eine Probe perforierter Flugzeugaußenhaut

Die Idee ist nicht neu, doch lange war die Zeit nicht reif für diese Technik – die Kosten für Kerosin waren gering und CO₂-Emissionen noch kein Thema. Anfang der Neunzigerjahre wurde die Forschung dazu in Europa wieder aufgenommen. Den vorläufigen Höhepunkt stellte der erfolgreiche Flugversuch mit einem Prototypen des A320 dar – allerdings wurde damals noch nicht interdisziplinär zusammengearbeitet. Die aerodynamische Machbarkeit war zwar grundsätzlich bewiesen, über Bauweisen hatte sich aber noch niemand Gedanken gemacht.

Das will das DLR in dem interdisziplinären Projekt LamAiR ändern: Mehrere Institute kooperieren darin und die einzelnen Fachbereiche tauschen sich aus – so wird verhindert, dass die Technik nur für einen Fachbereich optimal ist. „Wir arbeiten über das gesamte Projekt hinweg eng zusammen, um am Ende ein Ergebnis zu haben, das sich in der Praxis auch gut einsetzen lässt“, erklärt Horn. „Schließlich müssen wir hier auf alles Mögliche achten: Ist das Absaugungssystem zum Beispiel recht schwer, steigt der Treibstoffverbrauch durch deren zusätzliches Gewicht zu stark an – der Spareffekt wäre dahin.“

Millionen von haarfeinen Löchern

Matthias Horn hat sich gemeinsam mit seinen Stuttgarter Kollegen vor allem mit der Außenhaut beschäftigt, die durch sogenannte Mikroperforation – also viele kleine Löcher – die Absaugung möglich macht und an einen Schweizer Käse erinnert. Grundsätzliche Fragen und Randbedingungen mussten in den letzten drei Jahren geklärt werden: Wie soll die Außenhaut aussehen? Wie ist die Steifigkeit? „Wir brauchen hier eine Bauweise, die aus verschiedenen Einzelteilen besteht und den großen Belastungen standhält, denen ein Leitwerk im Flug ausgesetzt ist“, sagt Horn. So wurden viele Konzepte erstellt, Möglichkeiten abgewogen und wieder verworfen. „Unsere Berechnungen haben ergeben, dass die Löcher einen Durchmesser von maximal 50 Mikrometer haben dürfen. Das ist winzig klein, eintausend Mikrometer ergeben einen Millimeter. Eines dieser Löcher hat also etwa den Durchmesser eines Haares“, erklärt Horn. Das ist nötig, denn größere Löcher würden die Umströmung des Flugzeugs negativ beeinflussen. Wird diese Außenhaut später einmal auf das Seitenleitwerk eines gängigen Verkehrsflugzeugs wie einem A320 übertragen, sind bei einer Fläche von rund 7,5 Quadratmetern 30 Millionen Löcher nötig. „Hierzu müssen wir das Werkzeug sehr genau auswählen; Laserbohren wäre eine Möglichkeit.“

Das war aber nicht die einzige Anforderung, die Konstrukteur Matthias Horn zu erfüllen hatte: So soll auch die Absaugung gleichmäßig über die gesamte Fläche verteilt sein – und natürlich müssen die hohen Sicherheitsstandards in der Luftfahrt erfüllt werden. „Die Außenhaut muss zum Beispiel einen Vogelschlag aushalten“, sagt Horn. „Am besten geeignet ist eine dünne Metallfolie als äußere Lage. Sie ist bedeutend einfacher mit den Löchern zu versehen als ein dickes Metallblech. Dahinter befindet sich, fest verbunden mit der äußeren Lage, ein Verbund aus mehreren Drahtgeweben.“ Dieser Aufbau bietet eine sehr glatte Oberfläche, ist leicht zu perforieren, stabil und fest, lässt sich gut umformen und ermöglicht gleichzeitig, an jeder Stelle genau so viel Luft abzusaugen, wie notwendig ist. Dafür hat Arne Seitz gemeinsam mit seinem Team Teile der Außenhaut im „Laminar Flow Meter“-Windkanal in Braunschweig auf ihre Porosität getestet.

Hinter der Außenhaut verbergen sich kleine Kammern mit genau errechneter Größe, durch die die Luft gesaugt wird. Insgesamt sollen 19 Kammern in das Seitenleitwerk gebaut werden: vorne eine und rechts und links jeweils neun. Die Kammern sowie die tragende Struktur sind zum Schutz gegen Vogelschlag aus kohlenstofffaserverstärktem Kunststoff (CFK) gefertigt. Dieser Werkstoff kommt in der Luftfahrt aufgrund seiner besonders günstigen Eigenschaften immer mehr zum Einsatz: CFK ist im

Vergleich zu Aluminium sehr leicht und spart dadurch zusätzliches Gewicht. Zudem ist das Material sehr widerstandsfähig und erfüllt so die Sicherheitskriterien. Im Fuß des Seitenleitwerks soll die Pumpe untergebracht werden. „Eines der Ziele von LamAiR ist es, ein Absaugsystem zu entwickeln, das einfach im Aufbau und nicht zu groß und schwer ist“, erklärt Arne Seitz.

Das Beispiel Seitenleitwerk soll Schule machen

Im Jahr 1998 hatten bereits Flugversuche mit einem sehr komplexen System stattgefunden. Dieses besaß wesentlich mehr Kammern, von denen jede über Rohrleitungen und Ventile einzeln ansteuerbar war, während die Pumpe auf einer Palette im Rumpf untergebracht werden musste. Der Platzbedarf war allerdings so groß, dass im Rumpf die hinteren Sitzreihen nicht mehr nutzbar gewesen wären. „Mit dem neuen System ist ein Einbau der Pumpe in das Seitenleitwerk vergleichsweise einfach“, erklärt Matthias Horn. Vergleichsweise einfach bedeutet hier, dass mit weniger Schwierigkeiten zu rechnen ist ... wirklich einfach ist das nicht, denn alle Komponenten von der Außenhaut über die Kammern bis zur Pumpe müssen perfekt zusammenpassen – keine leichte Aufgabe für die Konstrukteure und Aerodynamiker des DLR.

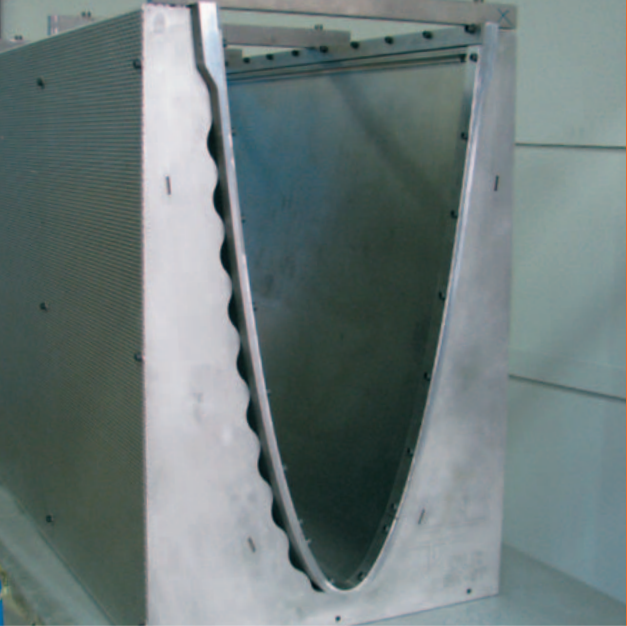


Bevor die Idee der perforierten Außenhaut Wirklichkeit wird, ist der Luftdurchfluss zu analysieren. Mit dem Laminar-Flow-Meter werden verschiedene Durchflussparameter untersucht.

Das Absaugsystem funktioniert nicht nur ähnlich wie ein Staubsauger, sondern hat auch ungefähr dessen Größe. „Allerdings hat das Gerät eine viel größere Leistung als ein Staubsauger: Der schafft nur zwei Kilowatt, unser System kommt auf 15“, sagt Seitz. Rund 14 Kilogramm wird es wiegen und damit etwa so viel auf die Waage bringen wie ein herkömmlicher Koffer, den ein Passagier aufgibt. „Der theoretische Teil für das Absaugsystem ist erledigt, im nächsten Schritt wird es gebaut“, sagt Seitz.

Um rund 1,76 Prozent könnte der Widerstand durch die DLR-Konstruktion am Seitenleitwerk reduziert werden – weitet man das Konzept auf alle geeigneten Flächen aus, so könnte der Gesamtwiderstand um rund 15 Prozent reduziert werden. „Zum jetzigen Zeitpunkt können wir das aber nicht auf den all-gemeinem Kerosinverbrauch umrechnen, da spielen zu viele unkalkulierbare Faktoren eine Rolle“, erklärt Horn. Das Nachfolgeprojekt ist schon geplant: 2013 wird ein Projekt starten, in dem mit den Ergebnissen aus LamAiR ein Teil des Seitenleitwerks gebaut werden und später auf dem DLR-Forschungsaibus ATRA getestet werden soll. ●

Weitere Informationen
www.DLR.de/BK
www.DLR.de/AS



Diese Kontur einer Seitenleitwerknase ist speziell für Hybridbauweisen zur Grenzschichtabsaugung ausgelegt

Bild unten: Die Poren in der Außenhaut, durch die die Luft abgesaugt werden soll, entstehen durch 50 Mikrometer kleine Bohrungen. Bild rechts: Kritisch betrachtet Dr. Arne Seitz im DLR-Institut für Aerodynamik und Strömungstechnik in Braunschweig einen Außenhaut-Prüfling

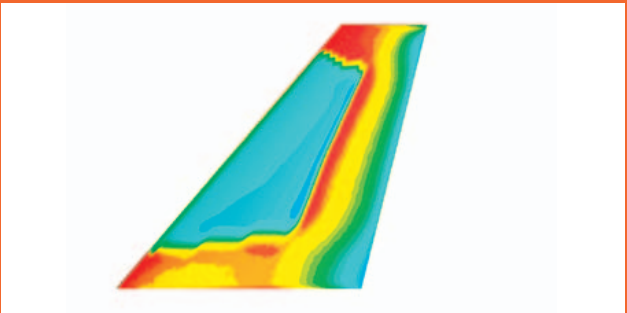
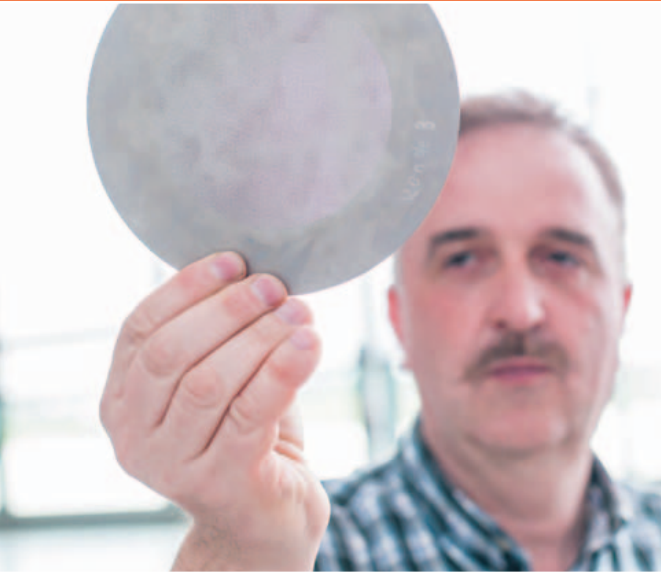
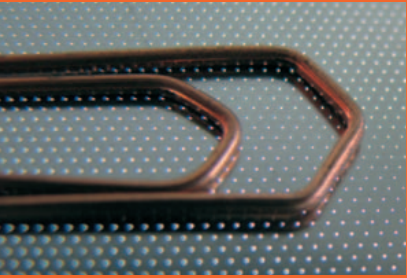


Bild links: Matthias Horn vermisst an seinem Arbeitsplatz im DLR-Institut für Bauweisen- und Konstruktionsforschung in Stuttgart die Mikroperforation eines Seitenleitwerkmodells
Bild oben: das Ergebnis einer Strömungsrechnung, die Auskunft gibt über die Wandreibung am Seitenleitwerk. In Blau zu erkennen die niedrige Wandreibung in laminarer Umströmung.



Was den Anschein einer Borte hat, ist die Schliffprobe einer hybriden Außenhaut-Bauweise. Obere Lage: perforierte Außenhaut, darunter der Gewebeverbund. Diese Bauweise bietet die Möglichkeit, Luft der Grenzschicht abzusaugen.

Kleiner als ein Knopf und voller Power

Sie sind klein, leicht und voller Power. Ihr Name ein Versprechen: SuperCaps. Es handelt sich um Kondensatoren, Bauelemente also, die Energie speichern. Ihr alltäglicher Vertreter: die Batterie. Doch ein SuperCap wäre kein SuperCap, wenn er nicht über Superlative verfügen würde. Die Geschwindigkeit, in der er Energie aufnimmt und abgibt, zeichnet ihn aus. Viel schneller als mit einer herkömmlichen Batterie wird Strom so verfügbar. Doch wie überall im Leben: Geschwindigkeit hat ihren Preis. Die Energiedichte in Kondensatoren ist gering, der Bedarf an Speicherfläche folglich hoch. Das ist einer der Punkte, die Dr. Bilge Saruhan-Brings umtreiben. Mit ihrem Team im DLR-Institut für Werkstoff-Forschung in Köln teilt sie eine Vision: nanobasierte Superkondensatoren auf Basis von Materialstrukturen im Nanometerbereich. Diese, so sind sich die Wissenschaftler sicher, können die Erwartung erfüllen, ultra-kleine und sehr leistungsfähige Energiespeicher mit hoher Kapazität zu bekommen.

Cordula Tegen im Gespräch mit Dr.-Ing. habil. Bilge Saruhan-Brings



Dr. Bilge Saruhan-Brings (Mitte), Dr. Guillermo César Mondragón (links) und Yakup Gönüllü diskutieren die Mikrostruktur möglicher neuer Speichermaterialien. Durchmesser, Wanddicke und Schichtdicke der Nanoröhrchen ermitteln sie auf der Basis von Aufnahmen des Rasterelektronenmikroskops (Hintergrund).

Auf der Suche nach dem geeigneten Material für kleine, leichte Energiespeicher, die SuperCaps: Yakup Gönüllü aus dem DLR-Institut für Werkstoff-Forschung versieht Proben mit einem Kontaktdraht und kontrolliert sie noch einmal, bevor sie in einer Elektrolytlösung weiter untersucht werden

Frau Dr. Saruhan-Brings, wer wird Ihnen für innovative SuperCaps dankbar sein?

Die Schar potenzieller Anwender ist groß. Nutzer mobiler Elektronik gehören dazu, Automobilbranche und Luftfahrt; alle, die erneuerbare Energiequellen noch besser ausschöpfen wollen, aber auch Mediziner und ihre Patienten. Überall dort, wo über elektrische Leistung sehr rasch, also binnen Sekunden, verfügt werden soll und wenig Raum vorhanden ist – und hier reden wir von Flächen, die kleiner sind als ein Knopf –, eröffnen SuperCaps ganz neue Wege.

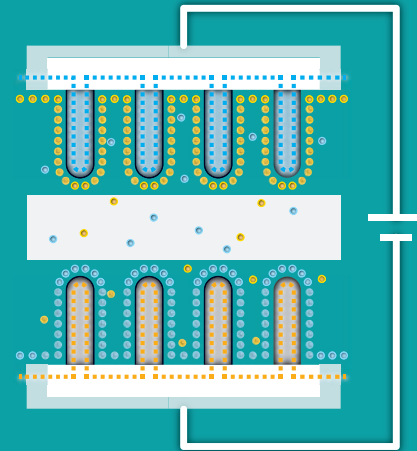
Welches sind die Probleme bei der Energiespeicherung auf kleinstem Raum?

Kommerziell bereits erhältliche Doppelschichtkondensatoren speichern die Energie in Form eines elektrostatischen Feldes von geladenen Partikeln, das durch zwei Elektroden aus Kohlenstoff geschaffen wird. Die Morphologie, also die Mikrostruktur, der Elektroden bestimmt die Leistung der Kondensatoren. Partikel im Größenbereich von ein paar Nanometern sorgen für eine große Kapazität. Doch die Elektrodenschichten aus Partikeln müssen irgendwie zusammengehalten werden. Sie werden also unter Verwendung von Bindern hergestellt. Die Binder schränken aber die Effizienz wieder ein. Deshalb wollen wir – abweichend von Doppelschichtkondensatoren – Dünnschicht-Elektroden aus längs ausgerichteten Nanoröhrchen herstellen. Durch die Nutzung der Innen- und der Außenflächen dieser winzigen Röhrchen lässt sich die Oberfläche drastisch vergrößern, denn durch Aufbringen von Metalloxiden auf diese Flächen finden zusätzlich elektrochemische Reaktionen statt.

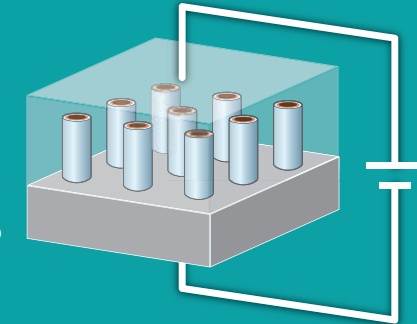
Wo liegt für Materialwissenschaftler hierbei der größte Forschungsbedarf?

Bis jetzt liegen nur wenig grundlegende Untersuchungen dazu vor, wie sich die Porengröße und Struktur zur Orientierung der nanostrukturierten metalloxydischen Elektroden verhalten. Auch über die Eigenschaften und die Funktionsweise von Hybridkondensatoren, wo Kohlenstoff und Metalloxide an einer Elektrode kombiniert sind, ist noch wenig bekannt. Und noch etwas: Konventionelle Elektroden befinden sich in einer Elektrolytlösung und sind durch einen Separator getrennt. So können

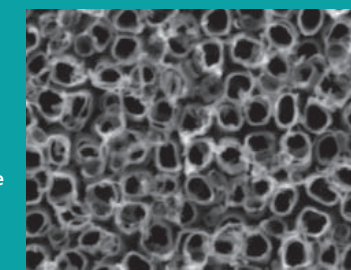
Die beiden nanoröhrchen-strukturierten Elektroden, zwischen ihnen: der Separator, hellgraue Flächen oben und unten: der Stromkollektor



Skizze eines Nanokondensators in 3-D



Mikroskopaufnahme einer mit Nanoröhrchen belegten Elektrode (Draufsicht)



die Doppelschichtkondensatoren heute bereits Strom mit einer relativ hohen Rate speichern. Aber durch die geringe Energiedichte, die über ein elektrostatisches Feld erreicht wird, sind die Kondensatorflächen sehr groß. Auch die Dauer der Energiebereitstellung, also die typische Entladezeit, und die Speicherkapazität sowie die Größe der Energiespeicher sind noch unbefriedigend. Weitere Probleme sind die Selbstentladung der Zellen und die noch immer recht hohen Herstellungskosten.

Und Nanoröhrchen sind die Lösung aller Probleme?

Zumindest vieler, denn um die Funktionalität und Energiedichte eines Speichers deutlich zu verbessern, brauchen die Elektronen kurze Wege. Dafür entwickeln wir die Elektrodenbeschichtungen in einer ebenmäßig längs ausgerichteten nanoröhrchen Struktur. Das ermöglicht den Ladungsträgern eine einfache Diffusion und erhöht so die Effizienz der Elektroden. Und wenn wir die Nanokondensator-Module sandwichartig aufbauen, können wir die Probleme lösen, und zwar ohne Abstriche bei der Leistungsdichte und der Langzeitladung und -entladung.

Wenn Sie von Sandwich-Strukturen sprechen, heißt das, dass Sie verschiedene Materialklassen zueinanderbringen müssen ...

Genau. Um die Energiedichte und die Kapazität der Module zu erhöhen, müssen die verschiedenen Komponenten optimal ausgelegt werden. Die negative Elektrode entwickeln wir auf Basis von Nanokohlenstofffasern, Nanodiamanten oder Graphen, das ist eine Kohlenstoff-Modifikation, in der jedes Kohlenstoffatom von drei weiteren umgeben ist, sodass sich eine wabenförmige Struktur ergibt. Für die positive Elektrode arbeiten wir an nanostrukturierten Metalloxiden, mit denen wir die dicht an dicht liegenden Nanoröhren auskleiden. Bei den momentan von uns favorisierten Nanokondensatoren werden die Schichten aus nanostrukturiertem und nanoporösem Graphen- oder Metall-Oxid hergestellt, die dann nachträglich mit Laser mikromaschinell bearbeitet werden. Die gefürchtete Selbstentladung der Zelle vermeiden wir, indem die flüssigen Elektrolyte durch Feststoff-Elektrolyte ersetzt werden. Damit beschichten wir die Anoden. Anschließend decken wir das Ganze mit einem Kathodenmaterial zu. Und so werden wir dann die kompakte 3-D-Superkondensator-Architektur bekommen.

Das hört sich aus Ihrem Mund an, als sei es ganz einfach ...

... naja, wenn man einmal weiß, welcher der Ansätze, die wir zum Teil auch erst einmal theoretisch verfolgen, der erfolgversprechende ist. Die Elektrolyte beispielsweise haben großen Einfluss auf die Leistungs- und Energiedichten und damit auf den Langzeitnutzen von Superkondensatoren. Daher ist es wichtig, unterschiedliche Ansätze zu verfolgen. Für nanoröhrige Elektroden, ob aus Kohlenstoff oder Metalloxiden, besteht noch großer Entwicklungsbedarf. Denn Nano-poröse Materialien mit ihren enormen Oberflächen tendieren dazu, vielfältige konkave und konvexe Topografien auszubilden. Da sich die Topografie auf das Niveau der Systemkapazität auswirkt, müssen wir jedes in Frage kommende Material zunächst testen.

Das bedeutet schier endloses Experimentieren – gibt es schon Ergebnisse?

Wir wissen schon, dass Nanostrukturen ein großes Potenzial haben und wir mit ihnen auf dem richtigen Weg sind. Durch gezielte Wahl bestimmter Elektrolyte und indem wir Spannung, Temperatur und Zeit optimieren, schaffen wir immer neue Nanostrukturen. Titan oder Aluminium beispielsweise lassen sich gut anodisieren, also anodisch oxidieren, um vertikal ausgerichtete Nanoröhren zu erzeugen. Extrem dünne – wir reden hier von wenigen hundert Nanometern – wie auch dickere, also zehn bis 15 Mikrometer dicke, Schichten lassen sich herstellen. Mit Metalloxid nanostrukturierte Oberflächen besitzen circa 5,5 Milliar-

den Röhrrchen auf jedem Quadratzentimeter. Bei den aus nanoröhrigen Schichten hergestellten Kondensatormodulen fungiert jedes der winzig kleinen Röhrrchen als eigenständige elektrochemische Zelle. Das sollte ein ausreichend großes Zellenvolumen ergeben, um die Energiedichte auf über zehn Wattstunden pro Kilogramm Elektrodenmaterial zu steigern. Doch bis zum wirklichen Erfolg ist Teamarbeit gefragt. Momentan gehören dazu der Werkstoffwissenschaftler und DAAD-Stipendiat Yakup Gönüllü und der promovierte Chemieingenieur Guillermo César Mondragón. Bei der Entwicklung dieser Elektroden kombinieren wir verschiedene Dünnschichttechniken, nutzen unsere materialwissenschaftlichen Kenntnisse und fügen unsere Kreativität dazu. Durch geschicktes Vorgehen und vielfaches Optimieren finden wir dann die erfolgversprechenden Lösungen.

Woran arbeiten Sie aktuell genau?

An erster Stelle steht die Erhöhung der Energiedichte von Superkondensatoren, ohne dabei Verluste bei deren zyklischer Lade- und Entladezeit in Kauf nehmen zu müssen. Wir wollen das erreichen, indem wir das Volumen der Kondensatormodule reduzieren. Basierend auf dem Kern-Schale-Prinzip werden in den Nanoröhren alternierende leitende und nicht-leitende ultradünne Schichten aufgebracht. So lassen sich auf winzigen Modulen Milliarden von Superkondensatorzellen generieren.

Welchen Vorteil bringen diese kleinen hochleistungsfähigen Energiespeicher für die Anwendung?

In der Elektronik und Telekommunikation würden die neuen Kondensatoren eine kabellose Datenspeicherung erlauben und Sensorsysteme mit Energie versorgen. Erneuerbare Energiequellen ließen sich effizienter nutzen, denn die Kondensatoren, an denen wir forschen, sollen keine flüssigen Elektrolyten mehr beinhalten, sie werden den Strom ohne Verluste durch eine physikalische beziehungsweise chemische Umwandlung speichern. Dafür gibt es unzählige Anwendungen: In Flugzeug- bzw. Hubschrauberortungs- und Trackingsystemen lässt sich mit SuperCaps Energie, die aus den vibrierenden Teilen gewonnen wird, weiternutzen. Diese kann dann als Back-up-Energie für die Ortungsgeräte zur Verfügung stehen. Im Automobil können SuperCaps, die mit Brems-

energie geladen werden, Energie für Start und Beschleunigung des Fahrzeugs rasch verfügbar machen.

Superkondensatoren wären also auch ein guter Weg zur Elektromobilität ...

... ja, SuperCaps können Benzin beziehungsweise Diesel in Hybridfahrzeugen sogar ganz überflüssig machen. In Hybridmotoren werden sie mit einer Batterie oder Brennstoffzelle zusammengelegt. So kann der Superkondensator Leistungsspitzen abdecken. Durch die Kopplung der Batterie mit einem Superkondensator steigt dadurch auch die Lebensdauer der Batterie deutlich oder sie kann kleiner ausfallen. SuperCaps kommen als Stromspeicher sowohl für das Bordnetz als auch für den Antriebsstrang zur Beschleunigungsunterstützung in Frage.

Ist die Zeit großer schwerer Batterien also bald vorbei?

Ich denke ja. Wenn Batterien mit Superkondensatoren zusammengelegt werden, heißt das: kleineres Batterievolumen, mehr Leistung. Zusätzlich können die Vorteile der Nanoelektroden auch für die Batterien genutzt werden, indem man Mikrobatterien auf der Basis von Nanokondensatoren baut. Die nanostrukturierten Module, die wir entwickeln wollen, werden noch leichter und dünner sein und halten deutlich länger. Ihre Lade-/Entlade-Kapazität steigt um das Hunderttausendfache! Und da sie sich extrem schnell mit höherer Energiedichte laden lassen, eignen sie sich hervorragend zur Integration in Technik zur Nutzung erneuerbarer Energiequellen oder für mobile Systeme. Dass SuperCaps ansonsten nicht nutzbare Energie in Elektrizität umwandeln und an Ort und Stelle auf kleinstem Raum speichern, ist auch eine sehr interessante Option für Herzschrittmacher und Insulindosierung.

Wagen Sie einen Blick in die Zukunft der miniaturisierten Kondensatoren?

Nanokondensatoren, da bin ich mir ganz sicher, werden zukünftig ein fester Bestandteil der modernen mobilen Gesellschaft sein. Wir werden ihre Präsenz gar nicht mehr bewusst wahrnehmen und doch ohne sie nicht mehr auskommen. ●



Stationen von Bilge Saruhan-Brings

Geboren 1957 in der Türkei, absolviert Bilge Saruhan zunächst ein werkstoffwissenschaftliches Studium an der Technischen Universität Istanbul. Nach der Promotion an der Universität Limerick in Irland kommt sie als Postdoc ans Institut für Werkstoff-Forschung des DLR in Köln. Nach einem Forschungsaufenthalt an der Penn-State Universität in den USA folgt 2002 die Habilitation an der TU Bergakademie Freiberg. Ihre Arbeitsthemen sind reformierende Katalysatorschichten, systemintegrierbare Gassensoren und Kraftsensoren sowie nanostrukturierte Funktionsschichten zum Einsatz in der Energietechnik. Dr.-Ing. habil. Bilge Saruhan-Brings hält vier erteilte und vier angemeldete Patente, ihre Publikationsliste weist mehr als 96 Veröffentlichungen aus, darunter ein Buch.



In einer Elektrolytlösung soll die SuperCaps-Elektrode zeigen, zu welchen elektrochemischen Leistungen sie fähig ist



Entdecker der Möglichkeiten

Der Abteilungsname sperrig, das Tun in Zahlen und Tabellen verborgen. – Nicht gerade eine Einladung, einen Wissenschaftler vorzustellen, der in der Abteilung Systemanalyse und Technikbewertung des DLR-Instituts für Technische Thermodynamik in Stuttgart arbeitet. Dass Dr. Christoph Schillings seine Gesprächspartner für seine Arbeit erwärmt, mag daran liegen, dass er diese aus Überzeugung tut. Oder daran, dass es in seinem Job um etwas mit Bezug zu jedermanns Alltag geht: Woher kommt morgen unser Strom?

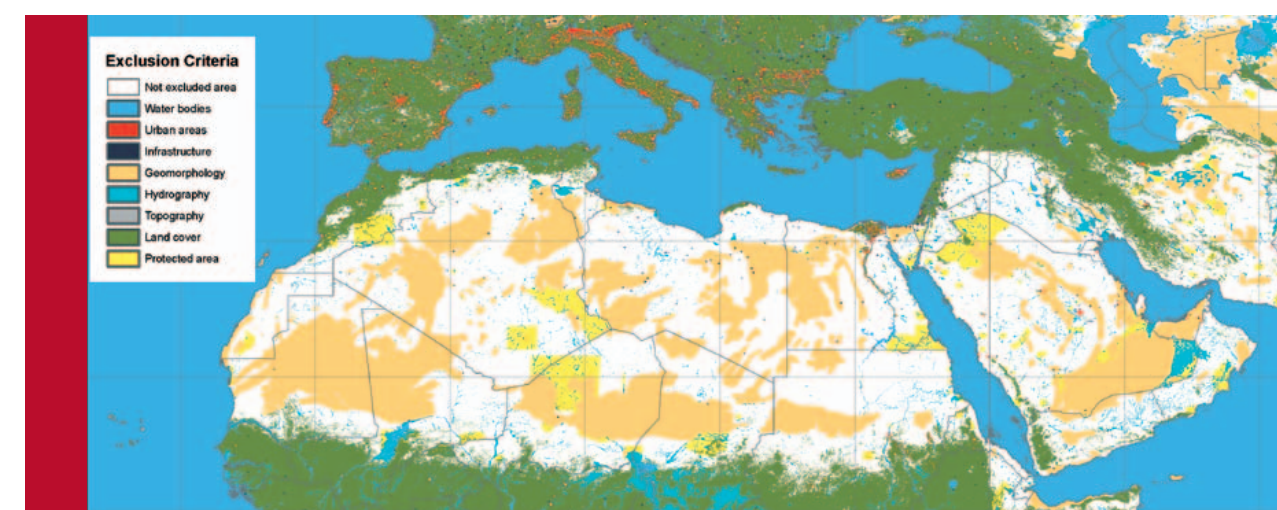
Dr. Christoph Schillings erschließt Potenziale zur Nutzung erneuerbarer Energien – und denkt dabei auch an die Zukunft seiner drei Söhne

Von Cordula Tegen

Der Zeitpunkt für unser Gespräch war günstig. Die Reise nach Katar verschoben, die Woche noch jung, und dank einer Nacht im Gästezimmer statt nahe beim jüngsten Sohn hielt sich die Müdigkeit von Dr. Christoph Schillings an diesem Montagmorgen in Grenzen.

Mein Gesprächspartner erwartet mich bereits, streckt mir zu Begrüßung seine große schlanke Hand entgegen, bei seinen 1,96 Metern muss er sich dazu fast ein wenig herunterbeugen. Auf dem Besuchertisch des Büros im Institut für Technische Thermodynamik liegen ein paar Grafiken bereit, ohne Umschweife kommen wir zur Sache: Systemanalyse – etwas, wofür man sich begeistern kann? Wortlos bekomme ich den Farbausdruck einer Karte der Mittelmeer-Anrainerstaaten zugeschoben. Fragend blicke ich auf weiße, gelbe und graue Flächen, überlagert von einer Fülle kleiner roter, grüner und blauer Quadrate. Christoph Schillings erklärt mir die von ihm erstellte Karte: Es geht um Standortsuche für Solarkraftwerke. „Wir bereiten Daten aus ganz verschiedenen Quellen so auf, dass man auf einen Blick erkennen kann, wo gute Standorte zur Nutzung erneuerbarer Energien sind“, erklärt er mir. „Ob es nun um Sonne oder Wind geht, wichtig ist, dass Wirtschaft und Politik eine Entscheidungshilfe bekommen. Und wenn sich dann auf Basis unserer Studien etwas bewegt, ist das einfach ein tolles Gefühl“, fügt er hinzu.

Die vielen unterschiedlichen Markierungen auf den Karten überraschen. Was muss man außer der Sonneneinstrahlung noch wissen, wenn man ein Solarkraftwerk bauen will, frage ich nach. „Wo die Städte liegen, wo Zonen urbaner Nutzung



Die Karte der Region Middle-East North-Africa gibt Auskunft darüber, welche Standorte für solarthermische Kraftwerke gemäß den Ausschlusskriterien nicht geeignet sind



Einig im Entdecken von Potenzialen erneuerbarer Energien:
Dr. rer. nat. Franz Trieb (links) und Christoph Schillings

sind, wo Verkehrsadern verlaufen; auch Naturschutzgebiete und Höhenunterschiede spielen eine Rolle. Parabolrinnenkraftwerke brauchen für ihre langen Kollektor-Reihen eine ebene Fläche“, erläutert mir der promovierte Geograf. Und ausladende Armbewegungen signalisieren: Hier ist er in seinem Element. Und er erzählt mit erkennbarer Genugtuung von Anfragen aus Saudi-Arabien und neuerdings auch aus Indien. Studien zu Potenzialen für die Solarenergienutzung sind begehrt. Christoph Schillings spricht vom Weg zu nachhaltigem Handeln, was er im Übrigen auch privat tut: Er heizt mit Holzpellets, betreibt eine Solarthermieanlage auf dem Dach, fährt immer öfter mit dem Fahrrad. Und man ahnt, dass er keiner ist, der sich mit bloßen Lippenbekenntnissen in Szene setzt. Erneuerbare Energien sind für ihn nicht nur Arbeitsthema, es ist eine Haltung. Darin sieht er die Zukunft der Energieversorgung. Auch mit Blick auf das Leben seiner drei Jungs im Alter von sieben Monaten bis sieben Jahren.

Ob er sich für seine Kinder einen Beruf wie seinen vorstellen kann? Ja, vorstellen schon, aber herausfinden, was ihnen liegt, müssten sie schon selber. Er sei ja auch nicht Arzt geworden wie Vater und Großvater ... „Was man tun kann und muss, ist, die Möglichkeiten aufzeigen“, sagt er. Und der Familienvater spricht vom Respekt für die Persönlichkeit der Kinder, von Freiräumen. – Und wie sieht es mit Grenzen aus? Die ruhige, fast sanfte Art, wie Christoph Schillings spricht, lässt Zweifel aufkommen, ob er energisch “nein” sagen kann. Oh doch, das könne er, versichert er ohne Zögern. Es ist dem 40-Jährigen auch wichtig, Grenzen zu setzen, zu vermitteln, wie weit man gehen darf, um seine Interessen durchzusetzen und zu verstehen, dass manchmal auch die eigenen Wünsche zurückstehen müssen.

Einmal einen Schritt zurücksetzen gehört für den Entdecker der Möglichkeiten auch zum Leben, ist nichts Gegensätzliches. Er hadert nicht mit seiner Entscheidung, nach der Promotion den nächsten Karriereschritt erst einmal ausgesetzt zu haben. Demnächst will er wieder die Möglichkeit der Elternzeit nutzen. Bei der Familie sein ist für ihn Glück. Und seine Frau, studierte Ökonomin, kann dann ihren beruflichen Wiedereinstieg vorbereiten. „Die Arbeit familienfreundlich gestalten zu können, das ist wirklich gut im DLR“, hebt Christoph Schillings hervor. Freilich gäbe es auch hier noch Möglichkeiten zur Ver-

besserung: Bemühungen um eine Kindertagesstätte am DLR Stuttgart sind leider im Sande verlaufen. Doch wer weiß – in seiner Abteilung ist wieder Nachwuchs in Sicht, noch ist nicht aller Tage Abend. Christoph Schillings ist Optimist.

Ohne diese positive Sichtweise wäre er jetzt nicht an dieser Stelle. Als er vor über zehn Jahren ins DLR kam, führte die Abteilung Systemanalyse und Technikbewertung eher ein Nischendasein. Heute sind es 20 Kolleginnen und Kollegen. Wie behält man da den Überblick, wer woran arbeitet? Ich bin Zaungast bei der montäglichen Teestunde, die er nicht missen will. Aktuelles aus den jeweiligen Arbeitsfeldern wird hier zur Sprache gebracht, kurz und prägnant, ohne die Zeit der Kollegen mit Nebensächlichem zu verschwenden. So ist von Arbeiten für ein Gesetz zu Wärme aus erneuerbaren Energien zu erfahren und einer Studie zu Arbeitsplatzeffekten durch die Nutzung erneuerbarer Energien.

Informationsaustausch wird nicht nur in der eigenen Abteilung Systemanalyse und Technikbewertung großgeschrieben. Für Szenarien zukünftiger Energieversorgung bedarf es räumlich hochaufgelöster Informationen, ob es nun um Energie aus Biomasse, Wind, Geothermie, Wasserkraft oder Sonne geht. Mit der Sonnenkraft begann der Stuttgarter Energieforscher, denn dafür wichtige Daten waren innerhalb des DLR zu bekommen, aus dem Deutschen Fernerkundungsdatenzentrum etwa oder aus dem Institut für Physik der Atmosphäre im DLR Oberpfaffenhofen, wo er eineinhalb Jahre arbeitete.

Zurück in Christoph Schillings' Büro fällt mein Blick auf eine Karte aus dem SOLEMI-Projekt, mit dem das DLR Daten über die verfügbare Solarstrahlung bereitstellt. Service oder Forschung – was ist dem Wissenschaftler lieber? „Serviceleistungen werden unter Umständen recht schnell praxiswirksam, dafür sind sie bürokratie- und routinelastiger. Eine gute Mischung mit der wissenschaftlichen Arbeit beispielsweise an der Verbesserung der Aussagekraft unserer Studien, macht's“, sagt mein Gesprächspartner. Und er setzt hinzu: „Hauptsache, wir pushen die Erneuerbaren, egal ob mit Forschung oder Dienstleistungen.“

Bei dieser starken Identifikation mit der täglichen Arbeit liegt die Frage nahe, ob auch eine andere berufliche Tätigkeit in Frage gekommen wäre – welcher Junge träumt schon von Sys-

SOLEMI

Solar Energy Mining ist ein Service des DLR, der Informationen über die verfügbare Solarstrahlung in hoher Qualität bereitstellt. Die Produkte basieren auf Daten des Wettersatelliten Meteosat mit einer räumlichen Auflösung von 2,5 Kilometern und einer zeitlichen Auflösung von 30 Minuten. Durch die Nutzung beider

Meteosat-Positionen auf 0 Grad und 63 Grad Ost können Karten und Zeitserien für fast den halben Globus erstellt werden. Der Vorteil: Satellitendaten sind seit über 20 Jahren kontinuierlich verfügbar. Karten und Zeitreihen können damit schnell rückwirkend über lange Zeiträume erstellt werden.

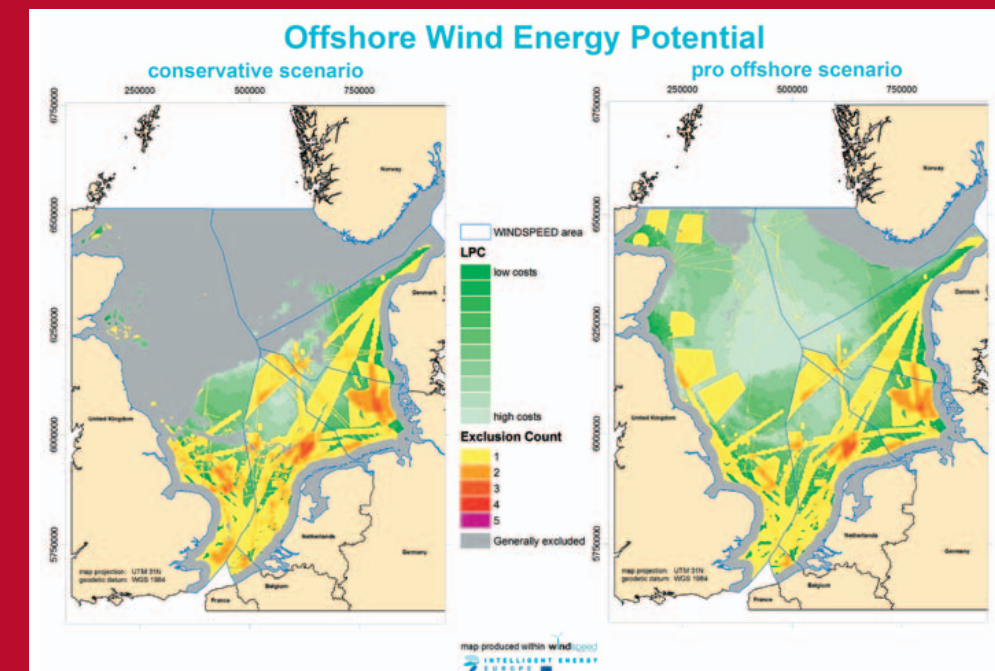
temanalyse ... Mein Gegenüber zögert. Bauingenieur stand mal zur Debatte, doch ein Praktikum in einem Architektenbüro offenbarte, dass Handwerkliches und Konzeptionelles allzuoft dem Tagesgeschäft unterliegen. Vom Ad-hoc-Geschäft gejagt zu werden, ist nicht Seins. „Da bleibt dann zuweilen nicht nur die Befriedigung über die eigene Arbeit, sondern auch die Kollegialität auf der Strecke“ resümiert Christoph Schillings nachdenklich und erwähnt im gleichen Atemzug den Rückhalt in seinem DLR-Team. Und wenn es hier einmal stressig wird, wie findet er Ausgleich? Sport ist die rasche Antwort. Tennis, Kraftsport, Schwimmen und Joggen, gern auch Wintersport. Einen besonderen Kick brauche er dabei nicht, ergänzt er mit einem leisen Lächeln, als ob er meine nächste Frage geahnt hätte. Obwohl Folgetermine auf ihn warten, ist er aufmerksam in jedem Moment unseres Gesprächs. Seine Aufmerksamkeit geht über den eigentlichen Job hinaus. Wenn dieser ihn nach Saudi-Arabien führt, nimmt er die dortige Kultur wahr, interessiert sich in Spanien für das Leben in der heißen und kargen Region, bedauert, dass dem Zusammenleben unterschiedlicher Kulturen oft Barrieren im Wege stehen, deren größte wohl Unkenntnis und Oberflächlichkeit sind. Es passt irgendwie ins Bild, dass sein Lieblingsfilm „Forrest Gump“ ist, mit dem oscarprämiierten Tom Hanks in der Rolle des gehänselten Langsamdenkers und erfolgreichen Schnellläufers, den aber mehr als das Augenscheinliche seine Zielstrebigkeit, Findigkeit und vor allem seine Warmherzigkeit auszeichnen.

Nach den Menschen befragt, die in seinem Leben eine wichtige Rolle spielten, kommt Christoph Schillings als erstes zu seinen Vater zu sprechen, der bedauerlicherweise bei Eintritt ins Rentenalter starb und mit der Mutter zusammen noch so Vieles

vorhatte im Leben. Seine individuelle Lebenszeit klug zu nutzen, sei wohl eine Erfahrung daraus. Und dann spricht er von jenem Mann, der ihm als Praktikant ein Mentor war, mit dem Diplom- und schließlich Promotionsthema „Strahlungsbestimmung für Solarkraftwerke“ quasi die beruflichen Weichen stellte und mit dem er bis heute kollegial zusammenarbeitet: Dr. rer. nat. Franz Trieb. Der Fototermin mit ihm, den Franz Trieb tapfer erträgt, gibt mir Gelegenheit, ihn zu fragen, wie man denn erkennt, dass ein Praktikant das Zeug zu einer Forscherlaufbahn hat. „Man merkt das einfach“, antwortet der erfahrene DLR-Wissenschaftler wortkarg. Und seinem Schulterzucken entnehme ich: Hier bedarf es nicht vieler Worte. Im Entdecken der Möglichkeiten ist man sich einig.

Das wäre wohl ein schöner Ausklang für die Geschichte, wenn dann nicht noch der kommissarische Leiter des DLR-Instituts für Technische Thermodynamik, Dr. rer. nat. Rainer Tamme, in unsere Verabschiedung hineingeplatzt wäre. „Haben Sie schon die E-Mail aus Katar gelesen“, fragt er Schillings, „es geht los ...“ – „Na endlich“, ist dessen kurze Antwort. Weshalb solche Ungeduld? Der Grund dafür überrascht in der Tat: „Wir wollten schon im Februar fliegen, um für die Standortsuche von Solarkraftwerken in Katar die Bodenmessungen zu konkretisieren. Jetzt wird es Ende April, da wird es in Katar schon sehr warm.“ – Jetzt muss ich lächeln: Der Mann, der mit so viel Verve Potenziale für Solarkraftwerke erschließt, mag keine Hitze ... ●

Weitere Informationen:
www.DLR.de/tt/system



Wie groß ist das Potenzial der Offshore-Windenergie in der Nordsee? Mit Hilfe eines Geo-Informations-Systems werden hierzu räumliche Daten ausgewertet. Je nach angewandten Ausschlusskriterien und Parametereinstellungen können verschiedene Szenarien zur Entwicklung der Offshore-Windenergie ermittelt werden. Das linke Bild zeigt ein Szenario bei eher ungünstigen Rahmenbedingungen, das rechte hingegen ein Szenario für forcierten Ausbau der Offshore-Windenergie.

Der mit den „Handschuhen“ fliegt

In der Wissenschaft verhält es sich mitunter ähnlich wie in Politik und Showbusiness, die Großen sonnen sich im Rampenlicht, während die Kleinen oft zu Unrecht im Schatten bleiben. Folgerichtig präsentiert das DLR-Magazin in dieser Ausgabe einmal einen weniger auffälligen Flugversuchsträger aus seiner umfangreichen Forschungsflotte: die einmotorige LFU 205, das erste Flugzeug seiner Klasse in Kunststoffbauweise.

LFU 205 – der kleinste Flugversuchsträger der DLR-Forschungsflotte

Von Hans-Leo Richter



Das großzügig verglaste Cockpit bietet beste Sicht. Die Öffnungen in den Seitenscheiben geben den Messgeräten den direkten Blick auf den Laminarhandschuh frei.

Nachdem den Magazin-Lesern die großen und markanten „Flaggschiffe“ wie ATRA (Airbus A 320) und ATTAS (VFW 614) vorgestellt wurden, steht diesmal ein kleines und vermeintlich unscheinbares Flugzeug im Scheinwerferlicht, die LFU 205, ein leichtes Reiseflugzeug aus Glasfaser-Verbundwerkstoff. Es gehört zum DLR-Flugbetrieb am Standort Braunschweig und wird dort fast ausschließlich für Vorhaben aus dem Bereich der Strömungsforschung genutzt.

Bewährungsprobe für Kunststoffbauweise

Die Geschichte dieses leichten, einmotorigen Flugversuchsträgers reicht zurück bis in die Sechzigerjahre. Das Institut für Strukturmechanik der damaligen DFVLR (heute DLR-Institut für Faserverbundleichtbau und Adaptronik) entwickelte gemeinsam mit der Leichtflugtechnik Union (LFU) ein leichtes Sportflugzeug – erstmals vollständig aus glasfaserverstärktem Kunststoff. Gebaut wurde das Flugzeug von den drei Gesellschaftern Bölkow GmbH Ottobrunn, Rheinflugzeugbau Mönchengladbach und Pützer Kunststofftechnik Bonn.

Das von einem Lycoming Kolbenmotor angetriebene Flugzeug war als Technologieträger für Kunststoffbauweise geplant und wurde als prototypisches Einzelstück gefertigt. Erstmals beim Bau eines Reiseflugzeugs entschieden sich die Konstrukteure hier für die sogenannte Schlauchbauweise. Die Kombination aus dem leichten Holz des Balsabaums oder Schaumstoff in Verbindung mit Deckschichten aus glasfaserverstärktem Kunststoff war im Segelflugzeugbau bereits erprobt worden und hatte sich dort bewährt. Ihr großer Vorteil: leichte Sandwich-Großbauteile in preiswerter Herstellung. Erstmals konnten somit bei der LFU 205 auch tragende Bauteile für ein Motorflugzeug in Faserverbundbauweise hergestellt werden.

Da die Konstrukteure bei dem Vorhaben, ein gewichts- sowie kostenoptimiertes Leichtflugzeug herzustellen, in vielen Bereichen Neuland beschreiten mussten, waren zahlreiche projektbezogene Forschungs- und Entwicklungsaufgaben zu lösen. Der am besten geeignete Werkstoff war auszuwählen, die entsprechende Bauweise zu entwickeln und für die Motorintegration und weitere Anschlüsse musste die Konstruktion auf den glasfaserverstärkten Kunststoff ausgerichtet werden. Schließlich war das neue Modell zu erproben. Bei der Auswahl der infrage kommenden Harze mussten die Wissenschaftler einen guten Kompromiss zwischen bestmöglichen mechanischen Eigenschaften und einer bezahlbaren Fertigung finden. Das Resultat überzeugte die Experten dann offensichtlich so weit, dass die Leichtflugtechnik-Union die Schlauchbauweise später auch für die Fertigung eines Höhenruders des Transportflugzeugs C 160 Transall übernahm.

Der Erstflug der LFU 205 fand 1968 statt, und im gleichen Jahr wurde das Experimentalflugzeug als das interessanteste Leichtflugzeug auf der – noch in Hannover stattfindenden – Internationalen Luft- und Raumfahrt Ausstellung ILA präsentiert. Die weitere Flugerprobung fand in den Siebzigerjahren in Oberpfaffenhofen statt. 1984 wurde die LFU 205 in die Flotte der DLR-Forschungsflugzeuge integriert. Bis zum heutigen Tag wird sie in Braunschweig erfolgreich vor allem als Erprobungsträger für laminare Tragflügelprofile eingesetzt. Das kleine leichte Flugzeug diente auch als Flugversuchsträger für Propeller mit verringerter Lärmemission.

Bei alledem spielt auch der Umstand eine Rolle, dass sich das kleine Forschungsflugzeug gegenüber größeren Mustern kostengünstig betreiben lässt. Hans-Jürgen Berns, Chefpilot des Braunschweiger Flugbetriebs, bekräftigt denn auch: „Die geringen Kosten dieses Flugversuchsträgers sind ein ganz entscheidender Vorteil.“

Heutzutage mit Laminarhandschuh unterwegs

In jüngster Zeit macht die LFU 205 mit Flügen zur Laminarforschung auf sich aufmerksam. Unter laminarer Strömung versteht man eine den Tragflügel gleichmäßig und ungestört umgebende Luftströmung. Für die Aerodynamiker ist vor allem der sogenannte Umschlag der widerstandsfreien Laminarströmung

in eine ungeordnete, das heißt turbulente Strömung von großem Interesse. Infolge von Verwirbelungen und Querströmungen erhöht sich in einem solchen Fall der Reibungswiderstand, ein höherer Treibstoffverbrauch ist die Folge.

Bei Segelflugzeugen haben die Konstrukteure eine laminare Umströmung der Tragflügel schon seit geraumer Zeit realisieren können. Verständlicherweise haben heute die Hersteller großer Flugzeuge aus Wirtschaftlichkeitserwägungen ebenfalls ein großes Interesse an einer weitgehend laminaren Umströmung der Tragflügel. Die Flugmessungen dafür sind verschiedenen Aufgabenbereichen zuzuordnen: Druckverteilungs- und Widerstandsmessungen sowie Grenzschichtuntersuchungen gehören ebenso dazu wie die Beobachtung des laminar-turbulenten Umschlags mittels Infrarottechnik. Auch wie ein Strömungsumschlag durch Verschmutzung des Tragflügelnasenbereichs durch Insekten oder Eisansatz verhindert werden kann, ist Gegenstand der Messungen. Dafür erhielt die LFU sogenannte Laminar-Handschuhe auf dem linken und rechten Tragflügel. Hierunter versteht man Flügelsegmente mit veränderter Kontur, die den Originalflügeln sozusagen übergestülpt werden.

Für ihre Versuche nutzen die Wissenschaftler modernste Messverfahren wie die Infrarot-Thermografie. Dabei erfassen sie die Wärmestrahlung im infraroten Wellenlängenbereich und schließen so auf die Oberflächentemperatur auf dem Tragflügel. Da die erwünschte laminare Umströmung eine andere Temperatur erzeugt als die turbulente Strömung, können die Experten den Umschlagpunkt präzise und vor allem berührungslos ermitteln. Untersucht wird derzeit auch der Einfluss der Sonneneinstrahlung auf die Temperaturänderung der Flügeloberfläche. Hierzu wurden verschiedenartig getönte Kunststofffolien mit unterschiedlicher Absorptionsfähigkeit für Sonnenstrahlung auf den Laminarhandschuh aufgebracht. Die Kenntniss der Temperaturen auf Strukturen aus Faserverbundwerkstoffen ist für Hersteller von Verkehrsflugzeugen von großer Bedeutung, da in Zukunft auch große Strukturen wie Tragflügel aus Verbundwerkstoffen gefertigt werden sollen. Gegenwärtig stehen derartige Temperatur-Messvorhaben im Auftrag von Airbus auf dem Flugprogramm, weitere Einzelvorhaben sind in Vorbereitung.

Die LFU 205 wird vermutlich auch in Zukunft noch wichtige Aufgaben erfüllen. Sie hat sich in der DLR-Flotte einen kleinen, aber feinen – und vor allem festen – Platz gesichert und ist noch lange kein Fall fürs Museum. ●

Weitere Informationen:
www.DLR.de/Forschungsflugzeuge

Die Flotte der DLR-Forschungsflugzeuge

Die Flugbetriebe des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt in Braunschweig und Oberpfaffenhofen (Sitz der Leitung) betreiben die größte zivile Flotte von Forschungsflugzeugen und -hubschraubern in Europa. Sie sind verantwortlich für deren Bereitstellung und Einsatz. So sind diese hoch modifizierten Fluggeräte selbst Gegenstand der Luftfahrtforschung oder werden als Plattformen zur Installation und für den Betrieb von wissenschaftlichen Geräten zur Beobachtung der Erde und der Meeresoberfläche sowie für die Atmosphärenforschung eingesetzt.

Airbus A320-232, D-ATRA

Das größte Flottenmitglied, der ATRA, ist seit Ende 2008 für das DLR im Einsatz. ATRA (Advanced Technology Research Aircraft) ist eine moderne und flexible Flugversuchsplattform, die nicht nur großemäßig einen neuen Maßstab für fliegende Versuchsträger in der europäischen Luftfahrtforschung setzt. ATRA löst das DLR-Forschungsflugzeug VFW 614 ATTAS (Advanced Technologies Testing Aircraft System) ab. Der Airbus übertrifft die altgediente VFW 614 in allen Dimensionen: Er hat eine um 50 Prozent größere Spannweite, fast die doppelte Länge, eine fast vierfach so hohe Startmasse und deutlich bessere Flugleistungen.



Cessna 208B Grand Caravan, D-FDLR

Die kleinste Maschine des DLR-Flugbetriebs in Oberpfaffenhofen. Das einmotorige Turboprop-Flugzeug wird vom DLR hauptsächlich zur Fernerkundung eingesetzt und eignet sich besonders für Kameraflüge, wie zum Beispiel mit der vom DLR betriebenen hochauflösenden Stereokamera HRSC (High Resolution Stereo Camera), die auch für Weltraummissionen genutzt wird. Die Cessna 208B wurde 2006 zum fliegenden Hörsaal umgebaut und mit einem turbulenzfähigen meteorologischen Messsystem, das sich unterhalb der Tragflächen befindet, ausgestattet.



LFU 205, D-ELFU

Angetrieben von einem Lycoming-Kolbenmotor mit 200 PS ist die einmotorige LFU 205 seit 1984 beim DLR-Flugbetrieb in Braunschweig im Einsatz. Als erstes Flugzeug dieser Klasse in Kunststoffbauweise dient sie als Entwicklungsträger für laminare Tragflügelprofile.



Dassault Falcon 20E, D-CMET

Die Dassault Falcon 20E ist für den Forschungseinsatz im DLR stark modifiziert worden. Der DLR-Flugbetrieb in Oberpfaffenhofen setzt das Flugzeug hauptsächlich zur Atmosphärenforschung ein. Internationale Forscherteams messen Spurengase und Aerosole direkt an Bord und sammeln Luftproben, die anschließend im Labor analysiert werden. Der zweistrahlige Jet basiert auf einem Geschäftsreiseflugzeug der französischen Firma Dassault und fliegt in Höhen von bis zu 12.800 Metern.



DG 300 Elan-17, D-1633

Optisch ist die einsitzige DG 300-17 aus glasfaserverstärktem Kunststoff ein ganz normales Segelflugzeug – und doch ist sie etwas ganz Besonderes. Die Flugleistungen der DG 300 sind exakt vermessen. Sie wird als Referenz für die Leistungsbewertung anderer Segelflugzeuge genutzt und ist, in Kooperation mit der Technischen Universität Braunschweig, mit entsprechender Messtechnik ausgestattet. Damit dient sie als Messgerät für andere



Dornier Do 228-101, D-CODE

Die Dornier Do 228-101 wird vom DLR in Braunschweig als fliegende Universal-Forschungsplattform bei den unterschiedlichsten Experimenten eingesetzt. Mit ihr werden zum Beispiel Strömungsuntersuchungen an Laminarprofilen von Tragflächen durchgeführt, optische Sensoren zur Erzeugung künstlicher Außensicht und Flugführungssysteme erprobt sowie Fernerkundungsmissionen geflogen.



Dornier Do 228-212, D-CFFU

Die zweimotorige Turboprop-Maschine Dornier Do 228-212, Kennung D-CFFU, wird vom DLR-Flugbetrieb in Oberpfaffenhofen hauptsächlich für Fernerkundungsmissionen genutzt. Mit ihrer großen rechteckigen Kabine und den großen Öffnungen im Kabinenboden eignet sie sich besonders gut zur Installation von speziellen Kamerasystemen, wie der Hochauflösenden Stereokamera HRSC (High Resolution Stereo Camera), die auch zur Weltraumbeobachtung genutzt wird.



DR 400/200R Remorqueur, D-EDVE

Das leistungsstarke viersitzige Motorflugzeug DR 400/200R Remorqueur wird primär als Schleppflugzeug für Segelflugzeuge eingesetzt. Darüber hinaus wird es als Transportflugzeug und zum Pilotentraining genutzt. Das einmotorige Flugzeug DR 400/200R basiert auf einer Jodel Robin DR 400 der französischen Fima Apex Group. Charakteristisch für eine DR 400 sind die Knickflügel, die für mehr Eigenstabilität sorgen.



VFW 614 / ATTAS, D-ADAM

Seit über zwei Jahrzehnten ist ATTAS (Advanced Technologies Testing Aircraft System) der große Flugversuchsträger des DLR. ATTAS wurde hauptsächlich als „fliegender Simulator“ konzipiert, um das Flugverhalten anderer, real existierender oder virtueller Flugzeuge zu simulieren. Das Einsatzspektrum von ATTAS ist vielfältig: Mit seiner Mess- und Versuchsausrüstung wird ATTAS für zahlreiche Versuchsaufgaben eingesetzt. Hierzu gehören zum Beispiel die Erprobung von zukünftigen Flugsicherungsverfahren und lärmarmen Anflügen. Außerdem werden mit ATTAS Luftverwirbelungen, die als Folge des an den Tragflächen erzeugten Auftriebs entstehen – sogenannte Wirbelschleppen – erforscht.



HALO Gulfstream 550, D-ADLR

Mit dem neuen Forschungsflugzeug HALO (High Altitude and Long Range Research Aircraft) beginnt ein neues Kapitel in der Geschichte der deutschen Atmosphärenforschung und Erdbeobachtung. HALO basiert auf einem Ultra Long Range Business Jet G 550 der Firma Gulfstream. Die Kombination aus Reichweite, Flughöhe, Nutzlast und umfangreicher Instrumentierung macht das Flugzeug zu einer weltweit einzigartigen Forschungsplattform. HALO übertrifft bei allen wichtigen Parametern die Leistungsfähigkeit der bislang weltweit operierenden Forschungsflugzeuge: Bei einer Flughöhe von mehr als 15 Kilometern, einer Nutzlast von bis zu drei Tonnen und einer Reichweite von über 8.000 Kilometern sind damit Umwelt- und Klimaforschungseinrichtungen erstmals Messflüge über Kontinente hinweg, auf allen Breiten, von den Tropen bis zu den Polen sowie in Höhen bis zur unteren Stratosphäre möglich.



Segelflugzeuge – gewissermaßen als Urmeter für die Ermittlung von Geschwindigkeitspolaren, die die Sinkgeschwindigkeit in Abhängigkeit von der Flugeschwindigkeit eines Flugzeugs angeben.

Komplettiert wird die Flotte durch zwei Forschungshubschrauber: den **Eurocopter BO 105** und den **fliegenden Hubschraubersimulator ACT/FHS**.

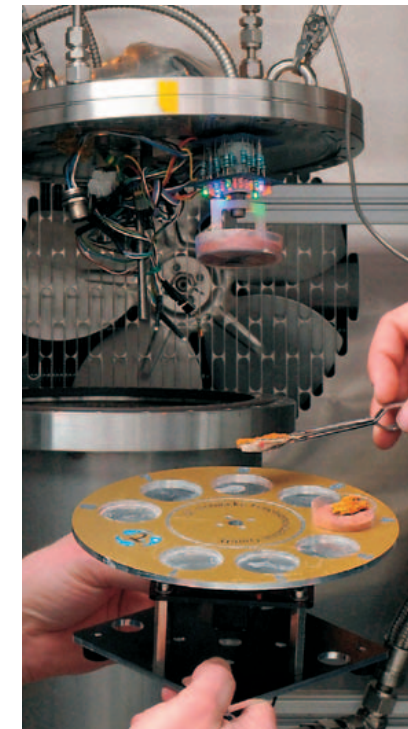


Überlebenskünstler im Härtetest

Eigentlich sieht die kleine Kammer im Institut für Planetenforschung unspektakulär aus – doch wenn sich die Türe schließt, entsteht in dem Berliner Labor ein kleines Stückchen Mars. Temperatur, Strahlung, Bodenbeschaffenheit – alles entspricht der Umgebung auf dem Roten Planeten. Für die Mikroorganismen im Inneren der Kammer geht es dann schlichtweg um Leben und Tod. Schließlich sind die Bedingungen alles andere als lebensfreundlich. **Pleopsidium chloro-phanum** aber hat es – ebenso wie alpine Flechten und Cyanobakterien – geschafft: Die Flechte aus der Antarktis hat sich als Überlebenskünstler bewiesen und gezeigt, dass Leben auf dem Mars möglich sein könnte.

Flechten betreiben Photosynthese unter Marsbedingungen

Von Manuela Braun



Bestückung des Proben-tellers für die Mars-Simulationskammer

Polare Flechten werden auch mit noch lebensfeindlicheren Bedingungen als denen in der Antarktis fertig

34 Tage lang Temperaturschwankungen von minus 50 bis plus 23 Grad Celsius. Karger Boden wie auf dem Roten Planeten. Ein Luftdruck von gerade einmal sechs Milli-bar und somit fast Vakuum. Dazu eine Atmosphäre, die zu 95 Prozent aus Kohlendioxid besteht, und nur am Morgen und Abend eines Marstages ein wenig Feuchtigkeit, die sich dicht über der Bodenoberfläche niederschlägt. Das alles hat die polare Flechte nicht aus ihrem Rhythmus gebracht. „Die Flechten haben die gesamte Zeit über Photosynthese betrieben“, erklärt Dr. Jean-Pierre de Vera, Planetenforscher und Astrobiologe. Photosynthese als Zeichen tatsächlichen Lebens unter schwierigen Bedingungen – nicht etwa nur ein Ruhezustand, in dem Mikroorganismen auf bessere Zeiten warten.

Harte Bedingungen ist die polare Flechte bereits aus ihrer Heimat gewohnt: De Vera sammelte die Überlebenskünstler auf einer Expedition in der Antarktis ein. Überraschend war es dennoch für den Planetenforscher, wie anpassungsfähig die Mikroorganismen waren. „Selbst nach einer kurzfristigen Veränderung der Gaszufuhr und somit einem Ausbleiben der Feuchtigkeit sprang die Photosynthese bei den Flechten wieder an“, wundert sich de Vera über die Lebensfähigkeit seiner Probanden. Sie erreichten dieselbe Aktivität wie in ihren irdischen Heimatregionen. Das erfolgreiche Leben unter Marsbedingungen bedeutet vor allem eines: „Falls vor vier Milliarden Jahren auf dem Mars Leben entstand, könnte es bis heute überlebt haben.“ Dabei kommt Mikroorganismen wie alpinen und polaren Flechten ihre Anpassungsfähigkeit zugute, mit der sie sich gerade in Bodenritzen und Fissuren einrichten. Auf der Erde machen sie immerhin mehr als 80 Prozent der Biomasse aus und lassen damit Menschen und Fauna zu den wahren Exoten werden.

Andererseits bestärkt das Ergebnis der Simulation die Forscher darin, bei zukünftigen Missionen zum Mars besonders achtsam vorzugehen: „Man muss extrem vorsichtig sein und darf keine irdischen Lebensformen auf den Mars bringen“, betont de Vera. Und außerdem zeigen die Überlebensstrategien der Mikroorganismen aus der Schweiz und der Antarktis, dass bei der Suche nach Leben auf dem Roten Planeten vor allem die Risse und Ritzen der Marsoberfläche wichtig sein werden. Dicht unter der Oberfläche, dort ist die Wahrscheinlichkeit, dass Lebensformen gefunden werden, am größten. Schließlich hatte sich eine direkte Oberflächenstrahlung in der Berliner Marssimulationskammer als schädlich für die Organismen herausgestellt. De Vera und sein Team hatten dafür mit speziellen Strahlungsquellen vom UV- bis Infrarotbereich die Marsbedingungen simuliert.

Plausibler ist die Möglichkeit von Leben auf dem Mars aber auf jeden Fall geworden: Wenn irdische Überlebenskünstler in einer Simulationskammer in Berlin-Adlershof unter Marsbedingungen aktiv sind, ist der Rote Planet vielleicht gar nicht so lebensfeindlich wie vermutet. Ob es allerdings auch tatsächlich Leben auf dem Mars gibt, kann letztendlich nur durch eines geklärt werden: die Suche vor Ort. ●

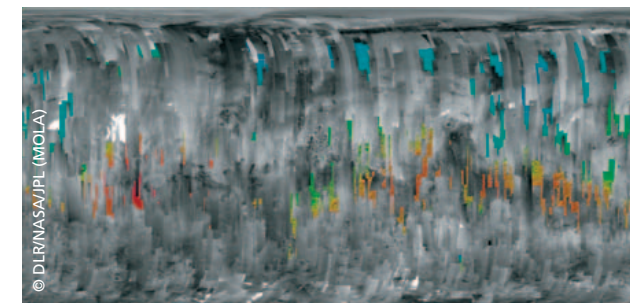
Weitere Informationen:
<http://s.DLR.de/5h67>

Wandelbarer Mars

Mars Express ist ein Glücksfall. Die Weltraumsonde wurde 2003 als erste Planetenmission der Europäischen Weltraumorganisation ESA überhaupt gestartet. Seit über zehntausend Marsumrundungen liefert der Orbiter so zuverlässig Bilder und Messdaten von unserem Nachbarplaneten, dass man ruhig mal die „Mutter“ aller deutschen Werbeslogans bemühen darf: Er läuft und läuft und läuft, wie einst der legendäre VW Käfer. Und Dank der vom DLR betriebenen Stereokamera HRSC auf Mars Express hat die Wissenschaft heute zudem ein neues Bild vom Mars.

Mehr als zehntausend Orbits mit der Stereokamera HRSC auf Mars Express lassen den Roten Planeten in neuem Licht erscheinen

Von Dr. Laetitia Le Deit, Dr. Daniela Tirsch und Ulrich Köhler



Nur noch vereinzelt sind Lücken mit farbigen Tupfen in dieser rechteckigen Darstellung der Topografie der gesamten Marsoberfläche zu sehen – das Muster aus grauen Streifen in den unterschiedlichsten Schattierungen zeigt die mit dem Kamerasystem HRSC auf Mars Express bereits aufgenommenen Bildsequenzen in allen Auflösungen. Mehr als zwei Drittel des Mars sind seit 2004 in einer Bildauflösung von 20 Metern pro Bildpunkt und besser festgehalten.

Mehr als zwei Drittel vom Mars hat die HRSC seit Missionsbeginn im Jahr 2003 in Auflösungen von 20 Metern pro Pixel und besser fotografiert: ein unermesslicher Fundus an Bilddaten. Programmiert, gesteuert und kontrolliert wird die Kamera vom HRSC-Experimententeam am DLR-Institut für Planetenforschung, ein Langzeit-Weltraumexperiment von unglaublicher Zuverlässigkeit und einem scheinbar ewigen Leben. Eine Beschreibung, die übrigens auch auf die anderen fünf Instrumente an Bord von Mars Express zutrifft (das siebte Experiment beruht auf der Auswertung des Funkverkehrs zwischen Orbiter und Erde). Auch die ESA weiß um die Zuverlässigkeit der Sonde und verlängerte die Mission bis zum Jahresende 2014.

Die HRSC fotografiert den Mars mit einem zu Projektbeginn völlig neuartigen Kamerakonzep. Die Bilddaten werden nicht mit einem Flächensensor aufgenommen, sondern mit neun lichtempfindlichen Zeilen, die quer zur Flugrichtung angeordnet sind und die Planetenoberfläche kontinuierlich unter verschiedenen Winkeln aufzeichnen – vergleichbar mit einem Scanner, der ein Blatt Papier abtastet: Vier schräg gerichtete Stereokanäle, vier schräg gerichtete Farbkanäle und ein Nadirkanal, der senkrecht zur Marsoberfläche blickt und die höchste Auflösung liefert. Je nach Flughöhe von Mars Express macht die HRSC Bilder, auf denen bis zu zehn Meter kleine Details erkannt werden können. Insbesondere die Fähigkeit der Kamera, die globale Topografie bildhaft darzustellen, unterscheidet sie von den bis dato existierenden Kamerasystemen. Die Planetenforschung hat auf solche Daten gewartet: Mit den digitalen Geländemodellen lassen sich viele Fragen beantworten.

Gigantische Vulkane, tiefe Schluchten, gewundene Täler, gewaltige tektonische Gräben, Eiskappen, chaotisch zerrüttete Gebiete, Einschlagskrater aller Größen, Staubstürme und vom Wind geformte Landschaften: Das zeigt die HRSC sowohl in regionalen Übersichts Bildern als auch auf Detailaufnahmen. Vor allem aber konnten die Forscher im fast fünfzigköpfigen Wissenschaftsteam die Phänomene nun in 3-D betrachten – und vermessen. Diese für die HRSC-Geländemodelle typische Eigenschaft ist von unschätzbarem Wert für die Marsforschung. Wie viel Wasser floss in diesem Tal? Welche Mengen Lava türmten sich zu jenem Vulkan auf? Welche geologischen Abläufe und welche Klimageschichte führten dazu, dass der Mars heute so ist, wie wir ihn sehen: ein eiskalter, trockener Wüstenplanet, auf dem aber mit Sicherheit in seiner Frühzeit Wasser strömte.

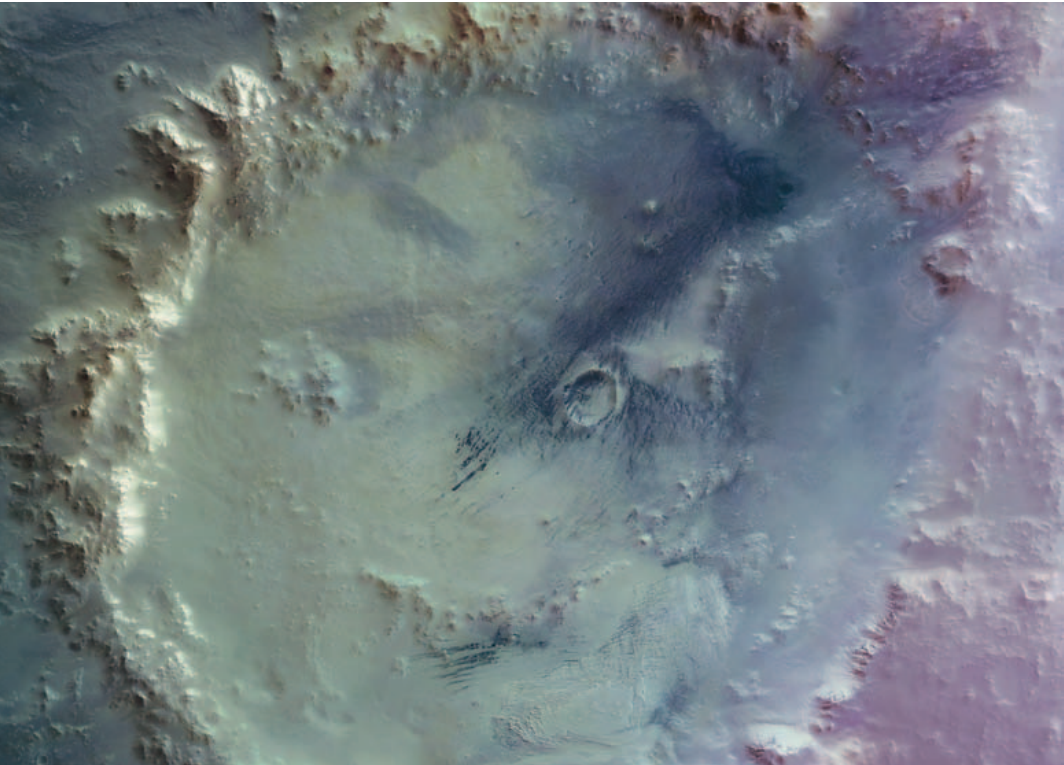
In der Region Protonilus Mensae am Übergang zwischen dem Marshochland und den nördlichen Tiefebene (oben im linken Bild) sind Zeugnisse der erosiven Kraft von Wasser, aber auch der Marswinde allgegenwärtig. Eis, das unter der Oberfläche gespeichert war, taute ab und floss als Wasser nach Norden. Die entleerten Hohlräume stürzten ein, zurück blieben zahlreiche Tafelberge. Im Zentrum des 130 Kilometer großen Einschlagskraters Moreux (Bildmitte) erhebt sich ein Zentralberg, der von einem dunklen Dünenfeld von mehr als 60 Kilometer Ausdehnung umgeben ist.

Anfangs vom Pech verfolgt

Das Erfolgsprojekt Mars Express begann alles andere als glücklich: Die Tochtersonde Beagle 2 wurde kurz vor dem Einschwenken in die Mars-Umlaufbahn zwar planmäßig abgetrennt, um auf einem ungesteuerten, ballistischen Flug in die Marsatmosphäre einzudringen und anschließend sanft auf der Oberfläche des Planeten zu landen. Doch das Unternehmen ging schief – Beagle 2 sendete keine Funksignale vom Mars. Vermutlich überlebte die Sonde den heißen Ritt durch die Marsatmosphäre nicht. Mars Express jedoch erreichte am 25. Dezember 2003 problemlos seinen vorgesehenen, hoch-elliptischen polaren Orbit, der die Sonde im Folgenden dreimal am Tag bis auf 240 Kilometer an den Mars heranführen sollte.

Eine ideale Umlaufbahn für die sieben Experimente, insbesondere für die Stereokamera HRSC. Noch nie konnte ein Kamerasystem simultan Bilder in hoher Auflösung in Stereo und in Farbe aufnehmen. Der ungelenke Name der Kamera ist wohl ein Ausdruck dieses Novums – High Resolution Stereo Camera. Entwickelt wurde die HRSC zunächst am Institut für Optoelektronik des DLR in Oberpfaffenhofen. Und auch die HRSC musste einen herben Rückschlag verkraften, als sie an Bord der russischen Sonde Mars 96 kurz nach ihrem Start im November 1996 wieder zur Erde zurückstürzte. Doch bald darauf wurde ein verbessertes Ersatzinstrument für die von der ESA ins Leben gerufene Mission Mars Express flugtüchtig gemacht – dann am heutigen Institut für Planetenforschung des DLR in Berlin-Adlershof.

Der Orbit von Mars Express ist stark elliptisch, sodass sich aus etwas größerer Entfernung auch regionale Ansichten der Marsoberfläche aufnehmen lassen. Im Januar 2012 fotografierte die HRSC aus 2.000 Kilometer Höhe den Übergang vom nördlichen Tiefland zur Nordpolkappe, die durch einen breiten, schwarzblauen Streifen von Dünen markiert ist. Auf den südlichen Ausläufern der (jahreszeitlich bedingt) eisfreien Polkappe erzeugen grabenartige Strukturen ein markantes Muster.



Im Krater Galle haben Windhosen Material von der Marsoberfläche abgetragen und den dunklen Untergrund freigelegt. Durch spezielle Bildverarbeitung werden die nur subtilen Farbunterschiede im Kontrast verstärkt und dadurch besser sichtbar. Wer genau hinschaut, erkennt, dass einige der Berge in dem 230 Kilometer großen Krater, der nach dem Neptun-entdecker Johann Gottfried Galle benannt ist, ein lächelndes „Smiley“ bilden.

Neben der globalen Kartierung sorgte die HRSC für eine Fülle neuer Erkenntnisse. Vor allem richtet sich die Neugier der Forscher auf Spuren von Wasser und Anzeichen von Leben auf dem Mars: Letzteres kann die HRSC aus dem Orbit zwar nicht identifizieren, doch aus ihren Aufnahmen und den Messungen der Spektrometer lässt sich ablesen, ob und wie lange Wasser, Grundlage allen Lebens, auf dem Mars vorhanden war. Und wo es geblieben sein könnte: Verdunstet und ins All entwichen? Oder versickert und in Hohlräumen im Untergrund, möglicherweise als Eis noch vorhanden?

Wasser auf dem Mars – gestern und heute

Wasser ist ein außergewöhnliches Fluidum, der „Schlüssel zum Leben“. Wasser ist aber auch für geologische und mineralogische Prozesse von großer Bedeutung: Es verändert Oberflächen, es transportiert abgeriebenes und gelöstes Material, lagert es an anderer Stelle wieder ab oder fällt Minerale aus. Heute ist Wasser auf der Marsoberfläche nicht beständig. Der niedrige Luftdruck würde es sofort kochen und verdampfen lassen. Auch in der Atmosphäre finden sich kaum Spuren von Wasserdampf. Dass dies nicht immer so war und Wasser in zum Teil großen Mengen über den Mars strömte, ist vielerorts zu beobachten.

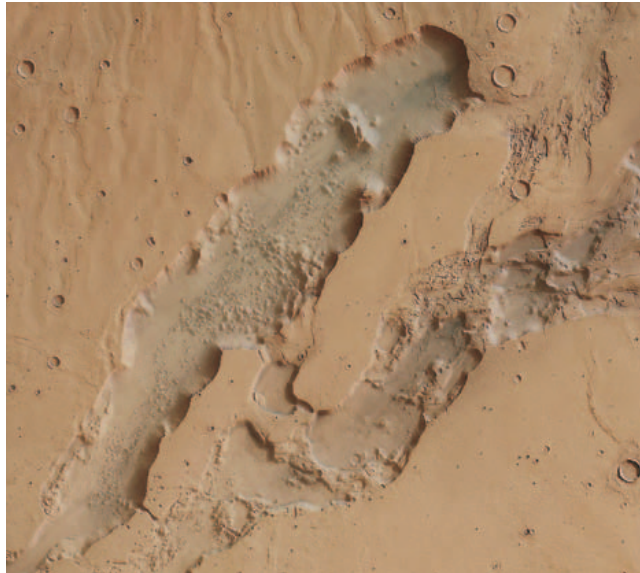
So ist das südliche Marshochland von zahlreichen verästelten Talsystemen durchzogen. Die meisten Täler sind zwischen einem und fünf Kilometer breit und mehrere hundert Kilometer lang. Sie entstanden ganz offensichtlich durch Oberflächenwasser von Regen oder Schneefall. Altersbestimmungen deuten an, dass vor drei bis vier Milliarden Jahren wahrscheinlich ein feuchteres und wärmeres Klima auf dem Mars herrschte, auch die Atmosphäre war dichter als heute. Fächerförmige Deltas am Ende langer Täler zeigen, dass viele dieser Flüsse an ihrem Ende stehende Gewässer bildeten und ihre Sedimentfracht auf dem Grund von Seen ablagerten. Noch größere Talsysteme, wie die mehr als zehn bis über hundert Kilometer breiten und bis zweitausend Kilometer langen Ausflusskanäle im Norden und Nordosten der gewaltigen Valles Marineris-Gräben scheinen durch kurzfristige Mobilisierung riesiger Wassermengen entstanden zu sein, die sich ihren Weg in Richtung der nördlichen Tiefebene bahnten.

Auch die Mineralogie belegt die einstige Präsenz großer Mengen Wasser. Das Spektrometer OMEGA an Bord von Mars Express identifizierte Tonminerale, Sulfate wie Gips, Eisenoxide oder Chloride (Salze), die sich auf der Erde meist nur in Gegenwart von Wasser bilden. In Kombination mit HRSC-Stereobildern lässt sich diesem Befund oft auch räumlich zuordnen, wo diese Minerale entstanden oder abgelagert worden sind. Tone finden sich eher in sehr altem Terrain, Sulfate in jüngeren Gebieten, als Schichten an den Flanken von Bergen in und um die Valles Marineris. Vereinfacht ergibt sich folgendes Bild: Mit zunehmender Zeit floss Wasser nur noch sporadisch über den Mars, auch scheint es eine Tendenz zu „saureren“ Bedingungen zu geben.

Seit etwa drei Milliarden Jahren scheint der Mars ein extrem trockenes Klima zu haben; die Durchschnittstemperatur liegt unter minus 50 Grad Celsius – lebensfreundliche Bedingungen sehen anders aus. Ein Teil des einst vorhandenen Wassers ist in den beiden Polkappen des Planeten noch erhalten, bedeckt von einer Schicht aus Kohlendioxid. Große Mengen Eis werden unter der nördlichen Tiefebene vermutet. Das haben Radarmessungen von Mars Express offenbart. Auch glaziale und periglaziale Strukturen und Permafrostphänomene an der Oberfläche unterstreichen diesen Befund. Schmale, steile Rinnen deuten darauf hin, dass Eis im Untergrund bisweilen schmolz und an den Hängen austrat – und dies vor geologisch nicht allzu langer Zeit. Deshalb ist es nicht ausgeschlossen, dass es für primitive extremophile Organismen vereinzelt etwas wärmere ökologische Nischen gibt – im Untergrund und somit unserem Blick aus dem Orbit entzogen.

Vom Winde verweht: Von Dünen und anderen Phänomenen

Heute verändert sich die Marsoberfläche fast ausschließlich durch die Aktivität des Windes. Der Planet ist nur von einer dünnen, allerdings ausgesprochen dynamischen Atmosphäre umgeben. Aus der Marslandschaft lässt sich ablesen, wie die erodierende Kraft der teils heftigen Stürme und der von ihnen transportierten Staub- und Sandkörnern wirkt. Mit Hilfe der HRSC war es möglich, diesen von Wind geformten Phänomenen



Die über zweitausend Meter tiefen und bis zu 40 Kilometer breiten Schluchten von Dao und Niger Valles zeigen, dass hier vor vielen Millionen Jahren große Mengen Wasser mit gewaltiger Energie flossen und über die Felskanten stürzten



Das große Plus der HRSC-Bilddaten ist die Möglichkeit, mittels Stereoskopie die Landschaften auf dem Mars in „3-D“ betrachten und analysieren zu können – für Dr. Daniela Tirsch (links) und Dr. Laetitia Le Deit das „tägliche Brot“ im DLR-Institut für Planetenforschung

auf den Grund zu gehen. So findet man fast global verbreitet, vornehmlich in Einschlagskratern, teils riesige Dünen und Dünenfelder, deren feinkörnige Bestandteile, anders als auf der Erde, dunkel, fast schwarz sind. Die Kamera-Aufnahmen lassen vermuten, dass es sich bei diesem Material um sehr alte vulkanische Asche handelt, die über den ganzen Mars verteilt ist und vom Wind zu unterschiedlichsten Dünenformen angehäuft wurde. Das Material wird allerdings, anders als bisher gedacht, nicht nur vom Wind in die Krater hineintransportiert, sondern hat oftmals einen lokalen Ursprung innerhalb der Krater.

Dort, wo der Wind nichts ablagert, sondern abträgt, entstehen unter anderem Yardangs – ein Wort der Uiguren für die Windhöcker in der Wüste Lop-Nor, das der schwedische Forscher Sven Hedin 1903 aufgegriffen hat. Unter Yardangs verstehen die Marsforscher schmale, stromlinienförmig verlaufende Rücken, die durch Windschliff entstehen, und deren Gestalt durch die wechselnde Widerstandsfähigkeit der Sedimentgesteine bedingt wird. Die erosive Wirkung des Windes entsteht durch kleine Sandkörner, die in der Luft mit transportiert werden und bei deren Aufprall auf eine Oberfläche Teile des Oberflächenmaterials abgeschliffen werden. Die HRSC hat phantastische Bilder und Geländemodelle dieser Oberflächenformen aufgenommen, die als Grundlage für eine detaillierte Analyse beispielsweise von Hauptwindrichtungen dienen.

Auch die Beobachtung von aktiven aeolischen, vom Wind angetriebenen Prozessen mit der HRSC ermöglicht Schlussfolgerungen über frühere und heutige atmosphärische Bedingungen. Stürme, die heute auf dem Mars im Wechsel der Jahreszeiten beobachtet werden, haben zwar enorme Geschwindigkeiten und globale Ausmaße. Weil die Atmosphäre aber einen Druck von nur etwa sechs bis acht Millibar hat (einem Hundertfüngstel des irdischen Luftdrucks), sind die Winde kaum in der Lage, schwere Sandkörner aufzunehmen, sondern lediglich leichten Staub oder Aschepartikel früherer Vulkanausbrüche. Aus der Betrachtung bestimmter Gesteinsformationen kann man aber schließen, dass die atmosphärischen Bedingungen wie Luftdruck, Windgeschwindigkeit oder Reibung zumindest zeitweise einen Sandtransport erlaubt haben. Multitemporale Aufnahmen ermöglichen einen direkten Vergleich und zeigen, dass einige dieser Formen verschwinden, wiederkehren und

ihre Größe, Form oder Position ändern. Kartiert man die Orientierung dieser Oberflächenformen, beispielsweise die windzugewandte Seite einer Düne, so kann man oberflächennahe Zirkulationsmuster ableiten.

Von warm und feucht zu kalt und trocken

All die vielen Informationen, die in den Bilddaten der HRSC und der anderen Experimente an Bord von Mars Express enthalten sind, können nach und nach wie kleine Puzzleteile zu einem Gesamtbild zusammengefügt werden. So viel steht fest: Das Klima auf dem Mars hat sich in den letzten dreieinhalb Milliarden Jahren sehr stark verändert. Nach einer relativ feuchten Phase, in der es Regen, Flüsse und Seen gegeben hat, kam es nur noch sporadisch dazu, dass Wasser auf der Oberfläche des Planeten floss. Die Quellen versiegt. Dann wurde es kalt und trocken – so sehen wir den Mars heute. Ob jemals Bedingungen vorhanden waren, die Leben ermöglicht haben könnten, wissen wir noch nicht. Der Schlüssel zu diesem, dem vielleicht größten Geheimnis unseres Sonnensystems liegt unter der Marsoberfläche, dort, wohin das Wasser versickert ist und in großer Menge als Eis heute noch vorhanden ist, möglicherweise als Wasseradern, in denen Süßwasser oder aber auch Salzwasser durch den Untergrund sickert. An der Oberfläche, im wüstenhaften roten Marsstaub, ist es zumindest heute ziemlich unwirtlich. Doch der Mars bleibt der wahrscheinlichste Ort im Sonnensystem, an dem wir uns Leben vorstellen können. Die Suche geht also weiter. ●

Autoren:

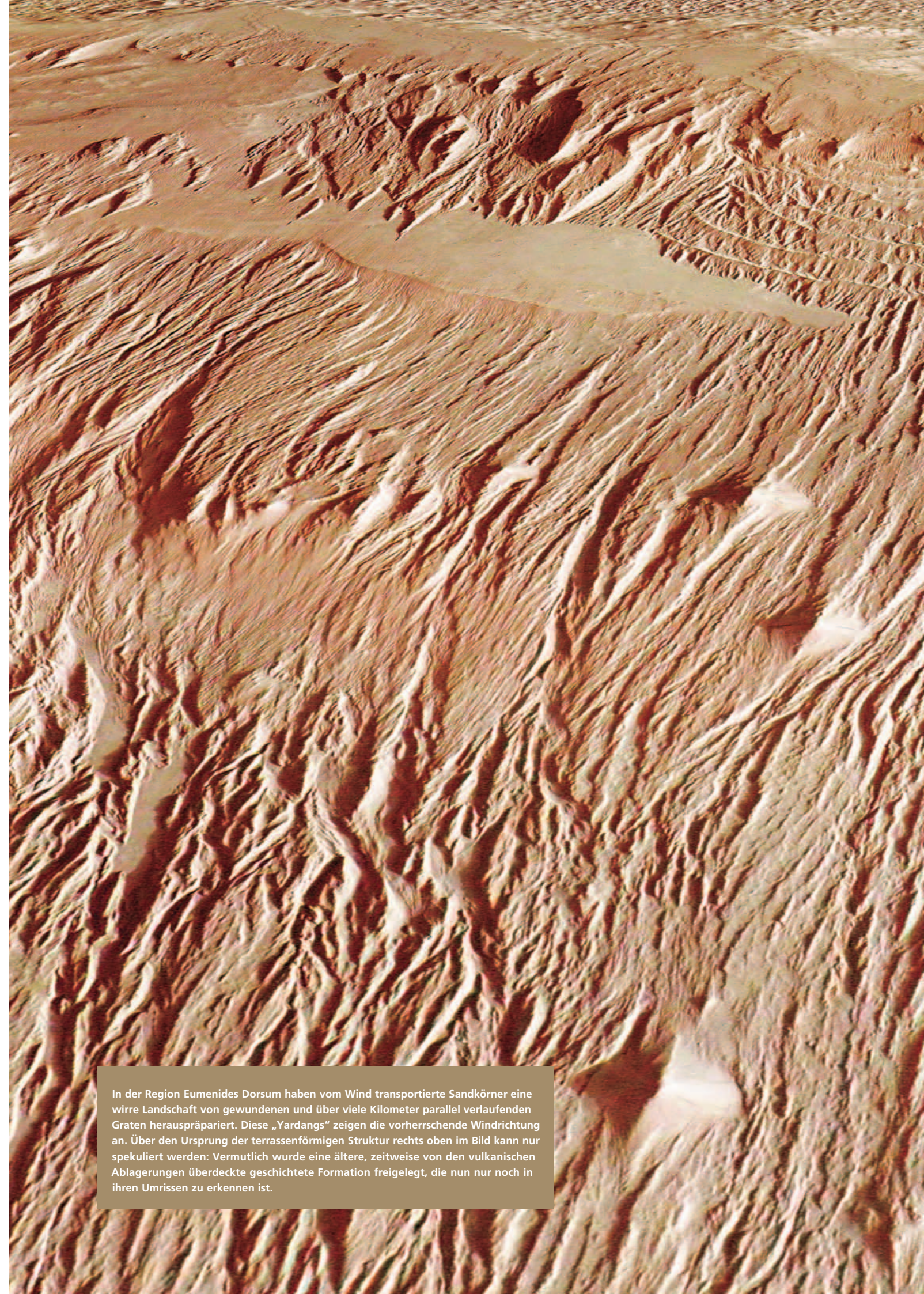
Dr. Laetitia Le Deit und Dr. Daniela Tirsch sind assoziierte Wissenschaftlerinnen im internationalen HRSC-Wissenschaftsteam. Der Planetengeologe Ulrich Köhler ist am gleichen Institut unter anderem für die Öffentlichkeitsarbeit zuständig.

Weitere Informationen:

www.DLR.de/Mars-Express

Bildmaterial Mars:

©ESA/DLR/FU Berlin (G. Neukum)



In der Region Eumenides Dorsum haben vom Wind transportierte Sandkörner eine wirre Landschaft von gewundenen und über viele Kilometer parallel verlaufenden Graten herauspräpariert. Diese „Yardangs“ zeigen die vorherrschende Windrichtung an. Über den Ursprung der terrassenförmigen Struktur rechts oben im Bild kann nur spekuliert werden: Vermutlich wurde eine ältere, zeitweise von den vulkanischen Ablagerungen überdeckte geschichtete Formation freigelegt, die nun nur noch in ihren Umrissen zu erkennen ist.

Der Ozean über uns

Wer vor über 100 Jahren die höheren Atmosphärenschichten untersuchen wollte, musste mit einem Ballon zum Studienobjekt aufsteigen. Die Wetter- und Klimaforscher des DLR-Instituts für Physik der Atmosphäre haben es mittlerweile einfacher: Forschungsflugzeuge wie Falcon oder HALO und Messgeräte auf Satelliten im Weltraum liefern die Daten, mit denen die Wissenschaftler Troposphäre und Stratosphäre von den Polarregionen bis in die Tropen erforschen. Vor 50 Jahren, am 1. Juni 1962, wurde das Institut gegründet – und geht seit einem halben Jahrhundert mit der Zeit. Zur Forschung für die Luftfahrt sind die Aufgaben aus Raumfahrt, Verkehr und Energie hinzugekommen. Vulkanausbrüche mit ihren Aschewolken sind Anlass für Forschungen in weit gespannter Zusammenarbeit. Und aus Businessjets werden fliegende Labore der Zukunft.

Seit 50 Jahren erforscht das DLR-Institut für Physik der Atmosphäre die komplexen Prozesse in den oberen Luftschichten

Von Manuela Braun



1969: Ein Messballon mit angehängter Radiosonde wird in der „Füllhalle“ hinter dem Institutsgebäude in Oberpfaffenhofen vorbereitet



1982: Drei instrumentierte Motorsegler vermessen die atmosphärische Grenzschicht am Nordalpenrand

In den Sechzigerjahren hegte man die Hoffnung, Nebel beeinflussen zu können. Ein Bild im Fotoarchiv zeugt davon. Es zeigt einen Generator für Reifkristalle zur Modifikation unterkühlten Nebels auf der Dachterrasse des damals neugebauten Instituts für Physik der Atmosphäre im Jahr 1968.

Der Nebel sollte verschwinden. Möglichst flächendeckend, damit die Flugzeuge auf dem Münchner Flughafen in Riem immer bei klarer Sicht landen könnten. 1962 war das – und das frisch gegründete Institut für Physik der Atmosphäre warf den Silberiodid-Generator an. Wetterbeeinflussung war ein großes Thema, als zwei Institute der Deutschen Forschungsanstalt für Segelflug (DFS) zum heutigen DLR-Institut für Physik der Atmosphäre (IPA) verschmolzen. „Man hoffte damals, die Natur mit der Technik beherrschen zu können“, erklärt Dr. Hans Volkert, Seniorwissenschaftler am DLR-Institut. Doch die Natur ließ sich nicht so einfach von der Technik beeindruckt. Auch die Versuche, wachsende Hagelkörner frühzeitig in viele Regentropfen umzuwandeln, endeten mit demselben Ergebnis wie der Kampf gegen den Nebel: Mal klappte es, mal nicht. Die Experimente konnten keinen Beleg dafür liefern, dass Nebel und Hagel ausreichend zuverlässig zu beeinflussen waren. Als Wettermacher waren die Wissenschaftler nicht erfolgreich – der Faszination, die Atmosphäre zu erforschen, Klima-abläufe deuten zu können und immer mehr Informationen zu sammeln, tat dies allerdings keinen Abbruch. „Wir leben schließlich am Boden eines riesigen Ozeans aus Luft“, beschreibt es Volkert. Und dieser Ozean soll erforscht werden.

Erstes fliegendes Labor in den Sechzigerjahren

Weltweit wurden Anfang der Sechzigerjahre Einrichtungen gegründet, die die Atmosphäre erforschten: in Deutschland neben dem Institut für Physik der Atmosphäre auch das Meteorologische Institut der Universität Bonn, in der Schweiz das Laboratorium für Atmosphärenphysik, in England das Meteorology Department an der Reading University oder auch in den USA das National Center for Atmospheric Research. Dabei wurde der Begriff „Physik der Atmosphäre“ bereits um 1890 geprägt. Damals, vor 100 Jahren, waren es die Ballonfahrer, die die Luftschiffahrt mit der Meteorologie verbanden und ihre Flüge auch zu Forschungszwecken unternahmen. Das verstärkte Interesse an der Atmosphärenforschung in den Sechzigerjahren des 20. Jahrhunderts hatte ähnliche Wurzeln: „Der Flugverkehr nahm zu und wurde immer wichtiger“, sagt Volkert.

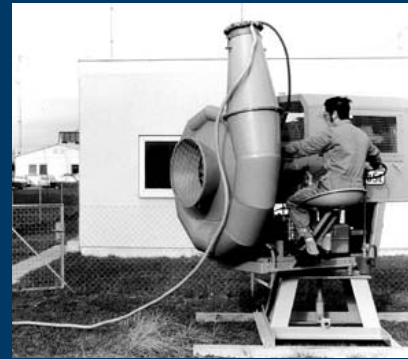
Hans Gerhard Müller, erster IPA-Direktor, war selbst Pilot. Der Bezug zur Luftfahrt blieb so auch bei den Forschungsarbeiten des Instituts stark. Vielfach wurden Messkampagnen zu Luftfeuchtigkeit, Temperatur und Turbulenzen an Bord von regulären Transatlantikflügen der Lufthansa durchgeführt. Aber auch wenn damals noch niemand daran dachte, dass einmal das Forschungsflugzeug Falcon mit einem Laser die Atmosphäre untersuchen würde – ein fliegendes Labor gab es dann doch bereits zu den Anfängen des Instituts: Die Deutsche Versuchsanstalt für Luftfahrt – eine der Vorgängerinstitutionen des DLR – erwarb 1962 die zweimotorige QueenAir, die mit Messgeräten an Bord für Missionen eingesetzt wurde. Flüge in die Luftströmungen des Föhns, Tests für Lasersysteme am Boden oder Flüge durch die Turbulenzen in der Troposphäre gehörten zu den Forschungsarbeiten während der ersten Institutsdekade.



1968: Das neue Gebäude des Instituts für Physik der Atmosphäre in Oberpfaffenhofen mit kleinem Regen-Radar auf dem Dach



1970: Während einer Kampagne in Norwegen wird eine Ballonsonde für eine Strahlungsmessung vorbereitet



1971: Abenteuerlich mutet heute das Verteilergebläse an, das zur Impfung unterkühlten Nebels mit flüssiger Kohlensäure aufgebaut worden war

Bewusstsein für Umweltverschmutzung und Klimaschutz

In den Siebziger- und Achtzigerer-Jahren kamen dann neue Themen auf: Mit einem sich ändernden Umweltbewusstsein in der Gesellschaft wurden Forschungen zur Luftverschmutzung und Klimaveränderung wichtig. Die Grünen gründeten sich als politische Partei (1980). Das Ozonloch wurde erstmals in der Zeitschrift Nature beschrieben (1985). Und das Kernkraftwerk Tschernobyl ging mit seiner verheerenden Explosion in die Geschichte ein (1986). „Jetzt wollte man die Natur weniger beherrschen als schützen“, erläutert Atmosphärenforscher Volkert den damaligen Sinneswandel. Aerosolmessungen über Bayern, die Messung des transalpinen Schadstofftransports sowie Ozon-Missionen über dem Nordatlantik und Island gehörten zu den Fragestellungen, mit denen sich das Institut für Physik der Atmosphäre beschäftigte. Zum Forschungsflugzeug QueenAir kam 1976 die Falcon hinzu, die aufwändig für Messungen von Turbulenzen, Aufnahmen von Luftproben und die Montage von Messinstrumenten unter den Flügeln umgerüstet wurde.

Zeitgleich weitete das Institut seine Kompetenzen aus: Nahmen zu Beginn der Forschungstätigkeit vor allem die Mess-Experimente einen Großteil der Zeit ein, kam nun die Modellierung am Computer hinzu. Die Wissenschaftler erstellten unter anderem ein Simulationskonzept für die Schadstoffausbreitung und modellierten den Wärmeeinfluss von Kraftwerkskühltürmen auf die Umgebung. Die Ergebnisse von Experimenten und von Simulationen konnten nun immer besser miteinander verglichen werden. In den Neunzigerjahren ließen die Wissenschaftler beispielsweise die Falcon anderen Jets folgen oder viel beflogene Luftkorridore kreuzen – und simulierten auf der Basis der durchschnittlichen, festgestellten Emissionen vollständige Klimaszenarien. Modellrechnungen des DLR zu Eiswolken oberhalb von 20 Kilometern über der Erde wiederum fanden ihre Bestätigung durch eine europäische Flugkampagne im schwedischen Kiruna. Experimente und Simulationen erwiesen sich immer mehr als gelungene Kombination.

Atmosphärendaten aus dem Weltall

Längst schon hatte auch die Raumfahrt Einzug gehalten in die Arbeit des Instituts für Physik der Atmosphäre: Meteorologische Satelliten lieferten den Wissenschaftlern Daten für ihre Forschung. Auf der Basis dieser Messungen aus dem Weltall errechneten die Wissenschaftler Temperaturprofile, analysierten die Höhe von Eiswolken oder erforschten Kondensstreifen. „Im Institut für Physik der Atmosphäre verbinden sich heute die beiden Kernbereiche Luft- und Raumfahrt gleichwertig“, betont

Hans Volkert. Neben der wissenschaftlichen Auswertung von Erdbeobachtungsmissionen entwickelt das Institut aber auch neue Technologien wie Lidar (Light detection and ranging). So zum Beispiel für den deutsch-französischen Klimasatelliten MERLIN (Methane Remote Sensing Lidar Mission), der ab 2014 den Methan-Gehalt in der Atmosphäre messen soll. Das DLR-Projekt WALES hingegen untersucht, wie mittels Lidar vom Weltraum aus präzise Wasserdampfmessungen vorgenommen werden könnten, um so noch bessere Wettervorhersagen und tiefere Erkenntnisse über die Rolle des Wasserdampfs im Klimageschehen zu ermöglichen. Und wenn zukünftig im Weltraum ein Lidar auf der „Atmospheric Dynamics Mission“ ADM-Aeolus rund um die Uhr Höhenprofile des Windes misst, dann ist die auf der Falcon erprobte Technologie zur alltäglichen Anwendung gekommen.

Forschung für Luft- und Raumfahrt, Verkehr und Energie

„Wir orientieren unsere Forschung an den Aufgaben aller Bereiche, in denen das DLR tätig ist – Luftfahrt, Raumfahrt, Verkehr und Energie“, betont Prof. Dr. Ulrich Schumann, seit 30 Jahren Direktor des Instituts. Wirbelschleppen. Klimawirkung von Emissionen und Kondensstreifen. Wetterinformationen. Physik der Wasser- und Eiswolken. Die Auswirkungen von Schiffs-, Bahn- und Straßenverkehr auf die Zusammensetzung der Atmosphäre. Neu hinzugekommen sind Projekte zur Windenergie. Und nicht zuletzt die Forschung zur Erkennung und Vorhersage der Ausbreitung von Vulkan-Emissionen. Dafür hat der isländische Vulkan Eyjafjallajökull gesorgt, der am 14. April 2010 ausbrach und den gesamten europäischen Flugverkehr lahmlegte – und die Falcon als „Vulcano Ash Hunter“ in die Aschewolke über Island, England und Deutschland schickte.

Die nächste Ära steht bereits an: Das Forschungsflugzeug HALO (High Altitude and Long Range Research Aircraft) nimmt seinen Betrieb auf und wird in über 15 Kilometer Höhe Messungen in der unteren Stratosphäre durchführen können. „Unsere Forschungsthemen sind eigentlich uralte, aber noch lange nicht abgearbeitet“, fasst Atmosphärenforscher Volkert zusammen. „Schließlich ist die Atmosphäre ein Kontinuum, das reichlich Chaos enthält – und wir Wissenschaftler versuchen, etwas Ordnung in dieses Gemenge zu bringen.“ ●

Weitere Informationen
www.DLR.de/PA

„Messen allein bringt gar nichts“



Seit dem 1. Oktober 1982 leitet Prof. Dr. Ulrich Schumann das Institut für Physik der Atmosphäre. In den fast 30 Jahren hat er es zur weltweiten Spitze der Atmosphärenforschung geführt. Am 30. Juni 2012 geht er in den Ruhestand – Luftfahrt-Redakteurin Lena Fuhrmann sprach mit Prof. Schumann über seine Zeit beim DLR.

Herr Prof. Schumann, kamen Sie mit einer Vision zum DLR?

Meine Vorstellung war, dass wir nicht nur versuchen, die Atmosphäre zu vermessen, sondern auch, sie zu modellieren. Denn Messen allein bringt gar nichts. Wenn man sich nicht vorher mit Modellen und Theorien eine Vorstellung von den Abläufen in der Atmosphäre macht, kann man die Messungen nicht einordnen. Wir haben in meiner Zeit sehr stark die Verbindung von Theorie und Experiment gefördert, die herausragenden Fähigkeiten des DLR im Bereich von Messungen und Simulationen ausgebaut und für viele Aufgaben genutzt.

Hatten Sie ein persönliches Highlight unter den vielen Projekten, die Sie in den letzten 30 Jahren geleitet haben?

30 Jahre sind eine lange Zeit, da hat man viele Projekte, die wichtig waren, da kann ich mich nicht auf eins festlegen. Eine Besonderheit an der Forschung im DLR ist die Vielseitigkeit. Ich habe mit meinen Teams wechselnde Themen erforscht – von sehr grundlegenden, theoretischen Arbeiten, wie zum Beispiel den chaotischen Eigenschaften eines turbulenten Systems, bis hin zu sehr praktischen Dingen wie der Vorhersage von Kondensstreifen. Stolz sind wir beispielsweise darauf, dass der Weltklimabeirat für einen Bericht, an dem wir beteiligt waren, den Friedensnobelpreis erhalten hat.

Was hat die Atmosphärenforschung besonders vorangebracht?

Das DLR hat einmalige Möglichkeiten, die Atmosphäre zu vermessen und mit Hilfe von Modellen zu verstehen: Beispielsweise haben wir mit dem DLR-Forschungsflugzeug Falcon und dem russischen Höhenforschungsflugzeug Geophysika in Brasilien im Umfeld von tropischen Gewittern, die dort bis 18 Kilometer Höhe reichen, die Entstehung von Stickoxiden aus Blitzen vermessen. Wir fanden heraus, dass die tropischen Gewitter wider Erwarten weniger Stickoxide erzeugen als Gewitter in unseren Breiten. Aus den Messdaten und Modellen konnten wir den globalen Beitrag von Gewittern zu Stickoxiden in der Atmosphäre bestimmen. Das waren teils überraschende Ergebnisse. Sie waren Voraussetzung für die Berechnung des Beitrags von Stickoxiden aus anderen Quellen, wie Straßen-, Schiffs- und Luftverkehr, mit Klimamodellen.



Mittels Nasenmasten ermitteln die Forscher heute wie damals aufs Genaueste die Windschwankungen (Turbulenz) vor den Forschungsflugzeugen HALO (2011; oben) und Falcon (etwa 1978; unten)



Vor dem großen Rutsch

Mit Satelliten instabile Hänge beobachten

Von Christian Minet

Was tun, wenn Berghänge ins Rutschen kommen? Murenabgänge und herabstürzende Hänge verursachten in den letzten Jahren zunehmend Schäden. Deshalb wurde ein Frühwarnsystem für alpine Berghänge entwickelt, das Hangbewegungen via Satellit überwacht. Geowissenschaftler der Forschergruppe „alpEWAS“ (TU München und Universität der Bundeswehr München) arbeiten mit Unterstützung des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt und dem Industriepartner Astrium GEO-Information Services an diesem System. Das große gemeinsame Ziel ist es, die Bewegungsraten der Hangbewegung im Millimeterbereich zu bestimmen, um im Idealfall den Menschen mehrere Tage vor dem Ereignis zu warnen. Der Vergleich der Ergebnisse mit jenen des bereits seit vier Jahren installierten integrierten Überwachungssystems auf Basis invasiver, terrestrischer und satellitengestützter Sensoren wird zeigen, inwieweit zukünftig die Überwachung aus dem Weltraum solche Verfahren unterstützen und gegebenenfalls ersetzen kann.

Der Hang auf der Aggenalm im Skigebiet unterhalb des Sudelfelds ist ein ideales Testgebiet, da er sich kontinuierlich bewegt: Zwei Zentimeter pro Jahr. Die Risse an den Mauern der Aggenalm sind der sichtbare Beweis. Um Bewegungen des Bodens zu messen, wird neben Bodenmessungen die satellitengestützte PSI-Technik genutzt, PSI steht für Persistente Streuungsinterferometrie. Die am Hang aufgestellten Reflektoren sind sogenannte „stabile Streuer“, das heißt es sind Punkte, die über Monate und Jahre das Radar-Signal in gleichbleibender Weise

reflektieren. Sie werden in Richtung des Satelliten TerraSAR-X ausgerichtet, der aus dem Weltraum etwaige Verschiebungen des Reflektors misst. Durch Verwendung mehrerer Reflektoren und auch unter Zuhilfenahme natürlicher Reflektoren wie Felsen wird ein „geodätisches“ Netz erzeugt. Man erhält Zeitserien von Bewegungsraten für jeden einzelnen Punkt. Je mehr Punkte für diese Prozedur zur Verfügung stehen, desto genauer und zuverlässiger werden die Messungen.

Das PSI-Verfahren funktioniert bisher hervorragend in städtischen Gebieten, weil dort viele stabile künstliche Objekte, also „stabile Streuer“, wie beispielsweise Dächer, Zäune oder Mauern vorhanden sind. Berghänge sind jedoch größtenteils von Wald und Wiese bedeckt. Natürliche „stabile Streuer“ sind daher selten. Deshalb wurden Radarreflektoren aufgestellt: Dabei handelt es sich um geometrische Gebilde aus drei senkrecht aufeinander stehenden Metallplatten. Diese sind so konzipiert und ausgerichtet, dass sie das Signal von TerraSAR-X sehr stark zum Satelliten zurückstrahlen.

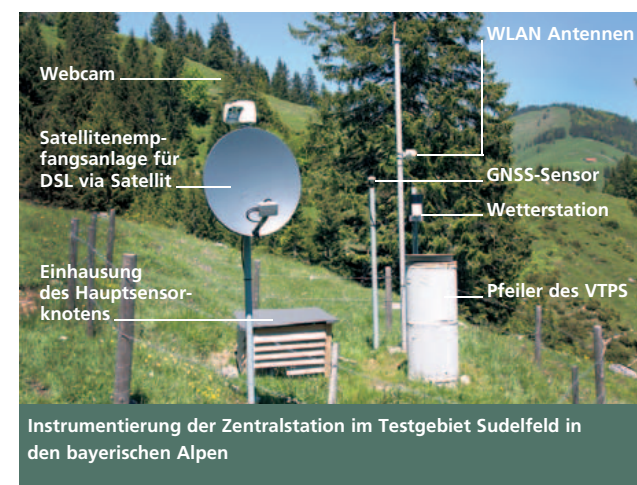
Indem die Wissenschaftler mehrere dieser Reflektoren aufstellen, gehen sie sicher, dass genügend auswertbare Punkte vorhanden sind. Erste Analysen der Daten im DLR-Institut für Methodik der Fernerkundung (MF) bestätigen die sehr gute Sichtbarkeit der Reflektoren in den TerraSAR-X-Aufnahmen. Somit ist das Mess-Netzwerk gut gerüstet für die im Frühjahr stets zu erwartende Erhöhung der Bewegungsraten. Im Rahmen dieses Experiments werden die verschiedenen Arten künstlicher Reflektoren getestet. Das MF des DLR trägt mit seinen zerlegbaren Reflektoren dazu bei, die Firma Astrium hat Reflektoren aus in Beton eingegossenen Edelstahlplatten produzieren lassen und auch vom Lehrstuhl für Ingenieurgeologie der TU München werden Reflektoren aufgestellt. Das Aufstellen der verschiedenen Reflektoren macht es möglich, diese miteinander zu vergleichen, die Genauigkeit bei der Positionsbestimmung der Reflektoren zu prüfen und zu verbessern und ihre Verwendbarkeit unter alpinen Klimabedingungen zu testen. ●

Autor:

Christian Minet vom DLR-Institut für Methodik der Fernerkundung koordiniert das Projekt zur Frühwarnung von Hangrutschen.

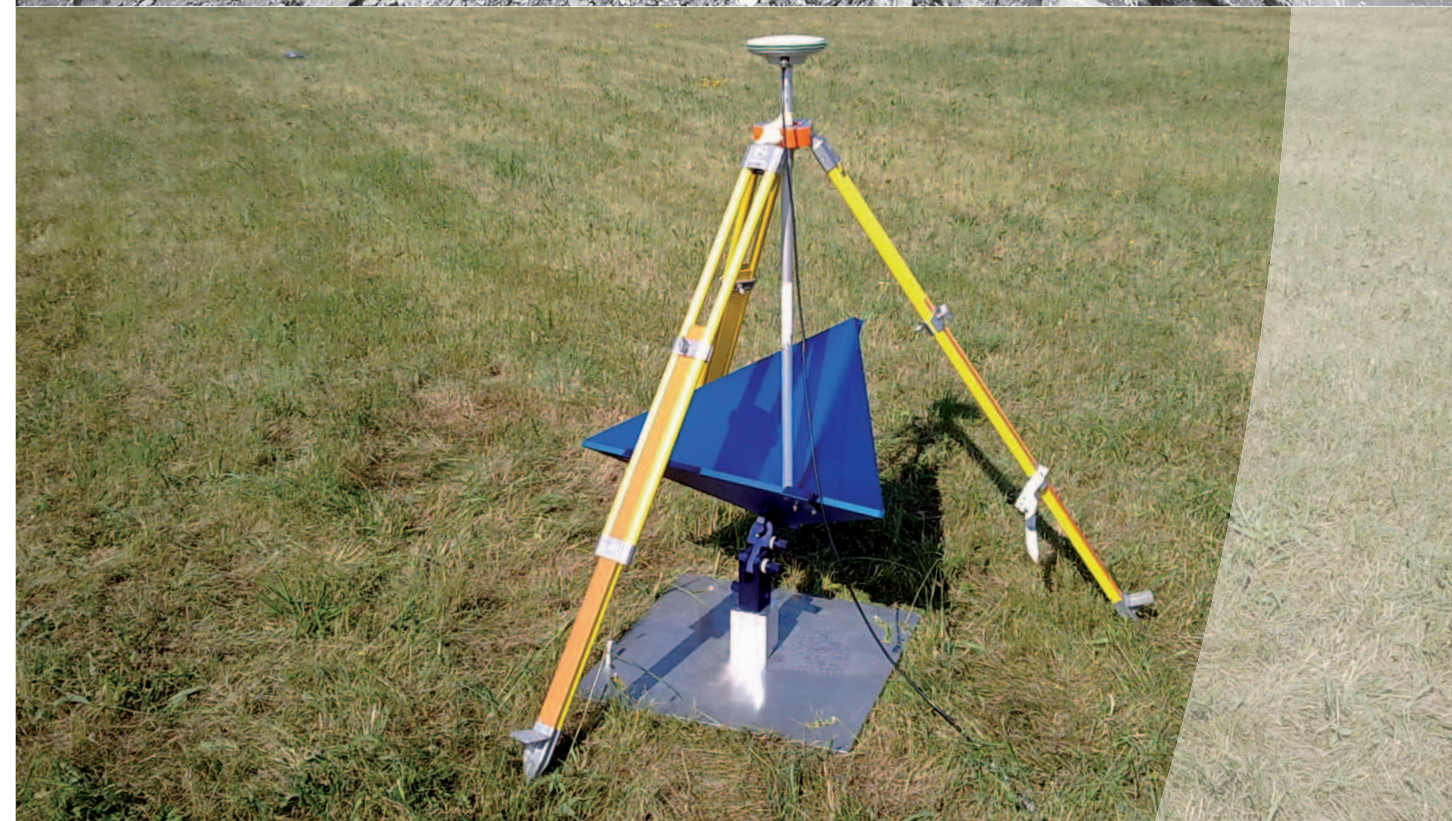
Weitere Informationen:

www.alpewas.de/outline.php



Die Beobachtung der Hangbewegung am Sudelfeld ist eine gemeinsame Initiative von Dr. John Singer, TU München, jetzt ETH Zürich, Dr. Oliver Lang, Infoterra GmbH, und Christian Minet, DLR.

Zerlegbarer Cornerreflektor des DLR in Leichtbauweise. Er dient der Bewegungsmessung mittels Satellitendaten. Das Foto zeigt den Reflektor während einer GPS-Kontrollmessung.



Bergung im All

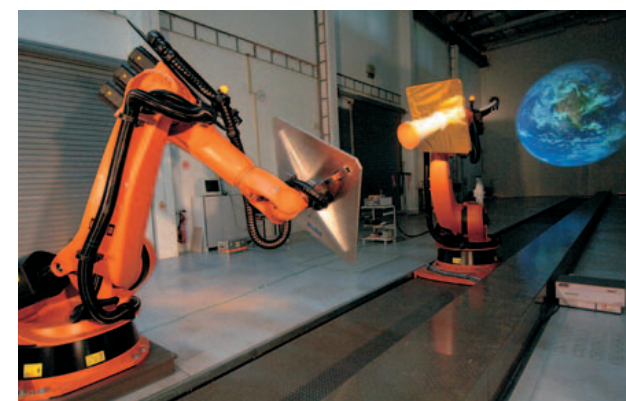
Der Roboter-Greifer nähert sich vorsichtig dem unregelmäßig kreisenden Ziel. Beide Objekte gleißen im intensiven Sonnenlicht vor dem blauen Planeten Erde und der Kulisse des schwarzen Weltalls. Mit der deutschen orbitalen Service-Mission DEOS wollen DLR-Wissenschaftler fehlerhafte Satelliten retten.

Das DLR-Institut für Robotik und Mechatronik will robotergetstützte Wartungs- und Reparaturverfahren im Orbit demonstrieren

Von Sean Blair

Während der Annäherung fährt der mit der Drehung seines Zielobjekts synchronisierte Roboter-Gelenkarm aus. Dann schließt sich der Greifer um den vorgesehenen Andockpunkt. Innerhalb weniger Augenblicke hat sich die Drehung des gegriffenen Objekts bis zum völligen Stillstand verlangsamt. Der Arm richtet das Objekt aus und verbindet die Andockmechanismen sicher miteinander und die Lichter gehen an ...

Dieses Rendezvous und das darauf folgende Andocken fanden zwar – noch – nicht im All statt, wohl aber auf dem Boden und zwar im European Proximity Operations Simulator, kurz EPOS, im Deutschen Raumfahrtkontrollzentrum (German Space Operations Center, GSOC) des DLR Oberpfaffenhofen. Unter Beleuchtungsverhältnissen, wie sie im Orbit vorkommen, bewegt sich ein Industrieroboter auf einer 25 Meter langen Linearachse auf das Modell eines taumelnden Satelliten zu, während die Kameras und Sensoren präzise seine Bewegungen erfassen.



Mit der Testanlage EPOS (European Proximity Operations Simulator) im DLR Oberpfaffenhofen wird erforscht, wie Satelliten, deren Energiereserven verbraucht sind, gegriffen, repariert und in der geforderten Lage gehalten werden können

Die EPOS-Anlage hat eine lange Geschichte. Sie wurde ursprünglich vom DLR und der Europäischen Weltraumorganisation ESA Ende der Achtzigerjahre entworfen, um Rendezvous- und Andockmanöver für Raumfahrzeuge zu testen, darunter für den europäischen Raumtransporter ATV (Automated Transfer Vehicle) und den japanischen Raumtransporter HTV-1 (H-II Transfer Vehicle). Beide Transporter befinden sich heute im regulären Einsatz und bringen Nutzlasten zur Internationalen Raumstation ISS. Im Jahr 2009 schlossen sich das GSOC und das DLR-Institut für Robotik und Mechatronik mit der Absicht zusammen, EPOS im Hinblick auf den neuen Schwerpunkt „In-Orbit-Servicing“, also Wartungsarbeiten in der Umlaufbahn, umzugestalten. Die Konstruktion und Erprobung von Robotersystemen, die Satelliten in der Umlaufbahn reparieren, mit Treibstoff versorgen oder anderweitig die Verwendungsdauer von Satelliten verlängern, lag nun im Fokus.

Viele Millionen Euro und erhebliches Know-how werden in Satelliten investiert, deren Nutzungsdauer doch stark begrenzt bleibt. Früher oder später ist der Treibstoff für die Bahn- und Höhensteuerung aufgebraucht oder Gyroskope und Batterien fallen aus. Selbst wenn die Nutzlast weiterhin einwandfrei funktioniert – sobald der Satellit nicht mehr in der Lage ist, seine Position im Raum zu halten, ist er nichts weiter als Weltraumschrott.

Jetzt beabsichtigt das DLR-Institut für Robotik und Mechatronik, die Spielregeln zu ändern: Mit Robotertechnologie wollen die Wissenschaftler die Lebensdauer von hochwertigen Satelliten verlängern und einen neuen Markt bedienen, dessen Volumen Milliarden von Euro erreichen könnte. „Das DLR hat durch Missionen wie CHAMP, GRACE und aktuell TanDEM-X viel Erfahrung auf dem Gebiet des Fliegens in geschlossener Formation gewonnen“, erklärt Klaus Landzettler, Koordinator für Weltraumrobotik. „Außerdem steuert unser Institut schon seit langem Roboter im All. Wir sind dabei, diese beiden Fähigkeiten für die Automatisie-

Nahaufnahme von ROKVISS, Deutschlands erstem Weltraum-Roboterexperiment, an der Internationalen Raumstation ISS, aufgenommen bei einem Außenbordeinsatz am 12. März 2007



ROTEX – Greifen eines Balls im Orbit

Zum DLR-Erfahrungsschatz bezüglich der Steuerung von Robotern im All gehört der Roboterarm ROTEX (Robot Technology Experiment) an Bord des Spaceshuttles der Spacelab-Mission D2 im Jahr 1993. Der in einer Arbeitszelle im Spacelab platzierte Arm konnte sowohl vom Modul als auch vom Boden aus gesteuert werden. ROTEX war geschickt genug, um einen kleinen freischwebenden Würfel automatisch einzufangen.

„Bei diesem ersten Weltraumexperiment hatten wir mit einer großen Kommunikationsverzögerung zu kämpfen“, erinnert sich Landzettl. „Wenn man am Boden einen Befehl gab, wurde er erst sechs bis sieben Sekunden später ausgeführt.“ Zur Kompensation der langen Signallaufzeit, nutzte das DLR-Team eine prädiktive Computersimulation.

ROGER – der Satellitenfänger

Geostationäre Umlaufbahnen stellen wohl die wertvollsten „Immobilien“ im Weltraum dar. Die 2002 vom Institut für die ESA erstellte Studie ROGER (RObotic GEostationary RObotic Restorer) befasste sich damit, wie ein unkontrollierter geostationärer Satellit gefasst und auf eine „Friedhofs-umlaufbahn“ gebracht werden kann. ROGER basiert auf einem Satelliten, bei dem ein Fangelement, das entweder mit einem Greifer oder einem großen Netz ausgestattet ist, zum Einsatz kommt.

„Es mag sich einfach anhören, ein Netz über einen Satelliten zu werfen, aber Netze verhalten sich im Weltraum nicht gerade intuitiv“, erläutert Landzettl. „Das Netz braucht mindestens vier Massen- oder Kleinsatelliten, um sich um das Zielobjekt zu falten – viel einfacher und sicherer ist es, dazu einen Manipulator mit Greifer zu verwenden.“

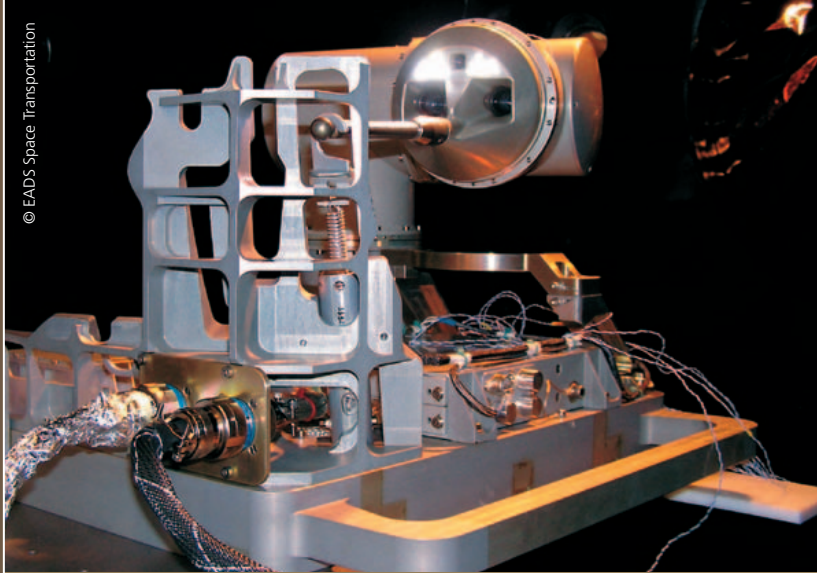
ROKVISS – Langstrecken im Orbit

Der Roboterarm ROKVISS (Robotik-Komponenten-Verifikation auf der ISS) befand sich ab dem 26. Januar 2005 sechs Jahre lang außen auf dem russischen ISS-Servicemodul Zvezda.

Die Gelenkeinheiten von ROKVISS wurden im freien Weltraum betrieben und mussten mit ständig wechselnden Umgebungstemperaturen – 16 Tag-Nacht-Wechsel an jedem Erdentag – zurecht kommen. „Auch das Schmieren der Gelenke im Vakuum und das Thermalsystem des kleinen Roboters stellten eine Herausforderung für die Entwickler dar.“

„ROKVISS ist ein Roboterarm mit zwei modularen Gelenkmodulen. Jedes Gelenk ist mit Motor, Getriebe, Sensoren und einer Elektronik, auf der die Gelenkregelung läuft, ausgestattet. Die Abwärme musste an die Außenhülle des Manipulators abgeleitet werden, sonst wäre unser System nach kurzer Zeit wegen Überhitzung ausgefallen, denn im All gibt es keine Konvektionskühlung.“

Mittels Fernprogrammierung vom Boden aus vollführte der Roboter jeden Monat das gleiche Experiment, damit eine Datenbank mit vergleichbaren Messwerten erstellt werden konnte. Mit diesen Daten konnte das Langzeitreibverhalten des Roboters im freien Weltraum bestimmt werden. Ein Joystick mit Kraftrückmeldung ermöglichte den Telepräsenzbetrieb, bei dem der Bediener am Boden so arbeiten kann, als wäre er selbst vor Ort. Im Gegensatz zu ROTEX betrug die Signalverzögerung, in Abhängigkeit von der Position der ISS am Himmel in Bezug auf die Bodenstation Weilheim, praktisch nicht mehr wahrnehmbare 12 bis 31 Millisekunden. Landzettl betont, dass dies ausgeklügelte Ingenieursarbeit erforderte: „ROKVISS war mit einem eigenen S-Band Sender/Empfänger auf der ISS ausgestattet. Unter Umgehung des herkömmlichen DLR-Netzwerks wurden die Daten direkt über eine 34-Mbit-Standleitung nach Oberpfaffenhofen in das Robotik-Institut gesendet. Manchmal steuerte ich ROKVISS über eine DSL-Leitung direkt von zu Hause aus über die Kommunikationsanlagen des DLR und ließ dabei den Roboter ganz gezielt auf Objekte auf der Erde hinunterblicken“, erinnert sich der Koordinator für Weltraumrobotik, Klaus Landzettl.



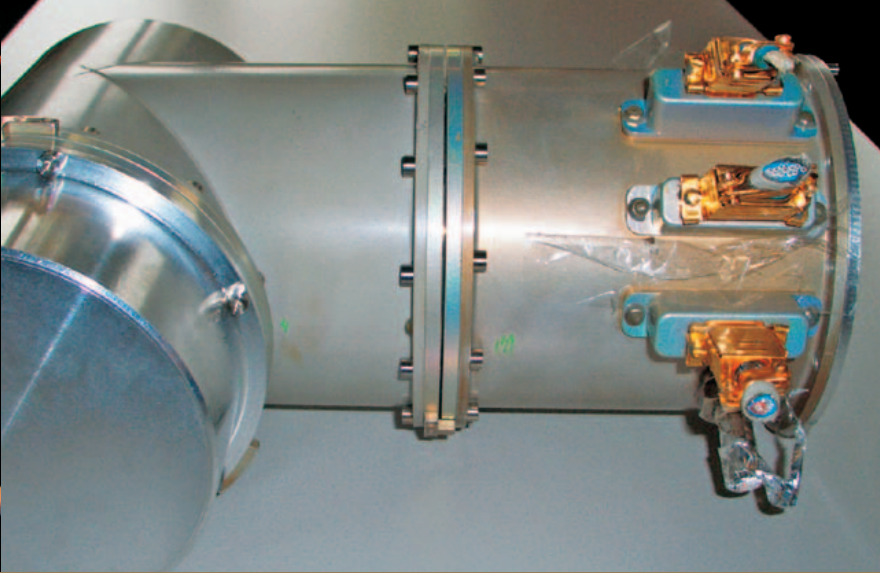
Die intelligenten Leichtbau-Roboter-Gelenkeinheiten des ROKVISS-Experiments

rung von Rendezvous, Andocken und Instandhaltung zu verbinden.“ Zwei verschiedene Ansätze werden für die Wartungsarbeiten in der Umlaufbahn verfolgt. Der erste gilt Telekommunikationssatelliten in geostationärer Umlaufbahn, deren Lebensdauer wegen begrenzter Treibstoffvorräte üblicherweise zwischen zehn und 15 Jahren beträgt. Der zweite zielt auf Satelliten in niedrigerer Umlaufbahn ab, deren Zustand häufig weit weniger stabil ist.

Im Jahr 2007 wurde von einer Arbeitsgemeinschaft der ESA unter Beteiligung von Kayser-Threde und des DLR eine Designstudie zur Mission durchgeführt. Das Konzept sieht den Servicesatelliten OLEV (Orbital Life Extension Vehicle) vor, einen kleinen Raumschlepper mit Ionen-Triebwerk. Er soll an einem Telekommunikationssatelliten andocken, dessen Treibstoffvorräte zur Neige gehen, um anschließend dessen Positionierung (Station-keeping) zu übernehmen. Um das Zielobjekt im Nahbereich zu visualisieren, soll bei OLEV eine Stereo-Kamera zum Einsatz kommen. Deren Bilder werden mit einem Computermodell des anzufliegenden Satelliten verglichen. Wenn der Satellit beispielsweise mit einem scheinbaren Durchmesser von zehn Zentimetern wahrgenommen wird, kann das System errechnen, dass er sich zu diesem Zeitpunkt in einer Entfernung von 50 Metern befindet. Diese Technik könnte durch ein Lidar- oder Lasersystem ergänzt werden, damit das System sowohl bei starkem Sonnenlicht als auch bei Dunkelheit einsatzfähig bleibt.

„Wir hatten uns für den Apogäumsmotor des Satelliten als Andockpunkt entschieden, weil er als Standardbauteil bei der Mehrzahl der heutigen Telekommunikationssatelliten zu finden ist“, erklärt Klaus Landzettl. Das OLEV-Raumfahrzeug sollte eine Lebensdauer von zwölf Jahren haben, sodass es nacheinander an verschiedenen Satelliten jeweils vier bis fünf Jahre lang eingesetzt werden kann. Doch aus finanziellen Gründen konnte das OLEV-Projekt bisher noch nicht weitergeführt werden. Eines der Forschungsergebnisse ist das vom DLR entwickelte CaptureTool, mit dessen Hilfe an allen im geostationären Orbit fliegenden Satelliten andockt werden kann.

„Die zweite Art von Wartungsarbeiten betrifft Satelliten, die in falsche Umlaufbahnen oder außer Kontrolle geraten sind und unkontrolliert trudeln“, fährt Landzettl fort. „Dabei gibt es noch etwas, das in Betracht gezogen werden muss.“ – Geostationäre Umlaufbahnen ermöglichen Kommunikation mit Sichtverbindung zur Bodenstation. Die direkte Kommunikation ist also stets gewährleistet: Datenhandschuhe mit Force Feedback erlauben es dem Bedienungspersonal, Objekte zu manipulieren, als wären sie physisch selbst vor Ort. Darüber hinaus sind die Lichtverhältnisse im Allgemeinen stabil und die von OLEV anvisierten Arten von Satelliten verfügen über eine funktionsfähige Lageregelung. Dies



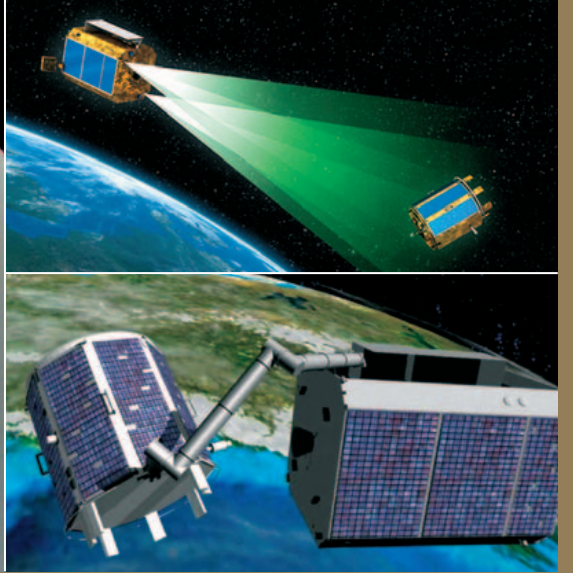
Zurück aus dem Weltall – der ROKVISS-Greifarm des DLR weist keinerlei äußere Beschädigungen auf. Die Ergebnisse der gerade durchgeführten Tests bestätigen, dass die vom DLR-Institut für Robotik und Mechatronik entwickelten Technologien für den Einsatz im Weltraum gut geeignet sind.

gilt jedoch nicht für niedrigere Umlaufbahnen. Da der Satellit die Erde schneller umkreist, als sich die Erde dreht, besteht mit jeder Bodenstation nur etwa acht bis zehn Minuten lang Funkkontakt. Dabei ändern sich die Lichtverhältnisse ständig. „Einsätze müssen bis ins kleinste Detail im Voraus geplant werden und nicht alles kann vorhergesehen oder vom Boden aus ferngesteuert werden. Gelegentlich muss das Greifen automatisch erfolgen, so der Koordinator für Weltraumrobotik am DLR-Institut. „Unser Institut möchte nun demonstrieren, dass diese Technologie ausgereift ist – und dies kann nur in der Praxis geschehen. Dazu wurde vom DLR-Raumfahrtmanagement das Projekt DEOS (Deutsche Orbitale Servicing Mission) ins Leben gerufen.“

Die DEOS-Mission wird aus zwei Satelliten bestehen: einem mit Roboterarm und Greifer ausgestatteten Servicer und einem separaten Zielsatelliten (Client), der eine Vielzahl von Ausgangsbedingungen simulieren kann, wie schnelle Drehungen oder langsames Taumeln. Das Ziel besteht darin, schrittweise eine komplette Reihe an Wartungsarbeiten in der Umlaufbahn zu demonstrieren: Rendezvous aus der Ferne und dichte Annäherung, Formationsflug und Inspektion beim Umfliegen, Greifen und Stabilisierung, Wartung (umgesetzt durch eine Kameramontage auf dem Zielobjekt; auch ein Betankungsexperiment wird diskutiert), gezieltes Verschieben des Satellitenverbunds auf dem Orbit und schließlich das gemeinsame Eintauchen in die Erdatmosphäre (De-orbiting). Klaus Landzettl: „Anstelle unseres eigenen Satelliten hätten wir auch einen vorhandenen Satelliten anvisieren können, doch dann stünden uns nicht die verschiedenen gewünschten Bewegungen des Zielsatelliten zur Verfügung, die wir zur Verifikation unserer Verfahren benötigen“, erläutert der Koordinator.

Der Servicer von DEOS verfügt über einen Roboterarm, dessen Entwicklung auf den Erfahrungen, die das DLR bei Missionen wie ROTEX und zuletzt auch ROKVISS gewonnen hat, aufbaut. Im Fernsteuerungsmodus bewegt sich der Robotergreifer wie die Hand eines Menschen, ohne Verzögerung und schnell genug, um einen unkontrollierten Satelliten zu greifen. Alternativ dazu erstellt sich das System im automatisierten Modus ein eigenes 3-D-Modell des Zielsatelliten samt seiner dynamischen Parameter und errechnet dann für den Roboterarm eine geeignete Greifbewegung.

Ein spezielles Problem, das auch bei DEOS auftritt, wurde zuerst und am treffendsten von Isaac Newton formuliert: Für jede ausgeübte Kraft wirkt eine gleich große, aber entgegengerichtete Kraft. In der Schwerelosigkeit wird mit jeder Bewegung des Roboterarms das Raumfahrzeug mitbewegt. „Es gibt zwei Wege, dies zu umgehen“, so Landzettl. „Einer besteht



Künstlerische Darstellung von DEOS, der einen defekten Satelliten mit seinem Sensor (oben) erfasst, sowie eines Reparatursatelliten, der den Zielsatelliten für ein Andockmanöver positioniert

darin, diese Effekte durch das Lageregelungssystem auszugleichen, aber dazu sind die derzeit bekannten Lageregelungssysteme nicht leistungsfähig genug. Der andere Weg – und das ist der von uns favorisierte – besteht darin, alle Kraft- und Drehmomentwirkungen auf die Plattform anhand eines dynamischen Modells zu berechnen und sie direkt in die Planung der Roboterbahn einzubeziehen.“ Es hört sich sehr ambitioniert an, wurde jedoch bereits in der Praxis vom DLR am 1997 gestarteten japanischen ETS-VII-Satelliten demonstriert. „Die Japaner ließen uns den Arm auf dem Satelliten bewegen und gleichzeitig die Bewegung des Satelliten erfassen. Am Ende der Mission waren wir in der Lage, die Auswirkungen der Armbewegung auf die Satellitenlage bis auf Zehntel Grad genau vorherzubestimmen.“

Im Jahr 2007 unternahm die Forschungsbehörde des US-Verteidigungsministeriums mit ihrem Doppelsatelliten Orbital Express im großen Rahmen automatisierte Andock- und Betankungstests. Seitdem steigt das Interesse an Wartungsarbeiten in der Umlaufbahn stetig an.

„DEOS kann nicht direkt zur Beseitigung von Trümmern aus der Erdumlaufbahn genutzt werden“, führt Landzettl an. „In der Praxis wäre das sehr kostspielig, denn jedes Mal müsste ein neuer Satellit in die Umlaufbahn starten, wenn ein alter Satellit entfernt werden soll. Deshalb wäre es wirtschaftlicher, wenn der Servicer sogenannte De-orbiting-Module an mehreren Zielobjekten anbringen würde, die dann den kontrollierten Wiedereintritt einleiten könnten. DEOS liefert dazu die nötigen Verfahren!“

Bisher waren Wartungsarbeiten in der Umlaufbahn zwar selten, aber sehr teuer – das Starten eines neuen Hubble-Welt-raumteleskops beispielsweise wäre weniger kostenaufwändig gewesen als dessen Wartung mit Shuttles und Astronauten. Wenn DEOS und ähnlich geartete Aktivitäten erfolgreich sind, werden sich die Spielregeln in der Zukunft ändern. ●

Autor:

Sean Blair ist Journalist für die in Leiden, Niederlande, ansässige Agentur EJR-Quartz. Er schreibt hauptsächlich für die Europäische Raumfahrtbehörde und ist Redaktionsmitglied des englischsprachigen DLR-Magazins.

Weitere Informationen:

www.DLR.de/RM

Die Trumpfdame verspielt

Vor 50 Jahren waren sie in aller Munde, die legendären „Mercury 7“ – jene ersten sieben US-Astronauten von Shepard bis Slayton, die beim Wettlauf im All für die Amerikaner punkteten. Zuvor sollten die Sowjets aber noch zweimal die Nase vorn haben – mit dem ersten Weltraumspaziergang und der ersten Frau im All, Valentina Tereshkova. Dabei hätten die USA, hätte die NASA in puncto Weiblichkeit im Weltraum die Nummer 1 sein können, wenn ... ja, wenn nicht nur die Boys von „Mercury 7“, sondern auch die, man lese und staune, Ladies von „Mercury 13“ zum Zuge – pardon: zum Fluge – gekommen wären. Aber so weit kam es nicht.

Weltraumflug als männliches Privileg – eine Erinnerung an die „Mercury 13“

Von Rolf-Michael Simon

„Mercury 13“ – ein kleines, aber bemerkenswertes Kapitel der Raumfahrtgeschichte, das nie zu Ende geschrieben wurde, so dass heute die wenigsten davon wissen. Im Rückblick umso erstaunlicher (oder gerade nicht?), dass analog zu den „Mercury 7“ auch dreizehn hochqualifizierte Amerikanerinnen für einen Flug in den Orbit benannt worden waren. In der Morgendämmerung des Raumfahrt-Zeitalters gab es nämlich Überlegungen, auch Frauen ins All starten zu lassen – meist kleiner und leichter als Männer, aber nicht minder leistungsfähig.

Der Arzt William Randolph Lovelace II, Leiter eines „special comitee“ der NASA für biomedizinische Tests mit Raumfahrt-Kandidaten, will dies in die Praxis umsetzen, gewinnt Brigadegeneral Donald Flickinger dafür und lädt Geraldine „Jerrie“ Cobb ein, die gleichen Tests zu absolvieren wie die „Mercury 7“. Jerrie ist 28 und fliegerischer Vollprofi, sitzt seit über zehn Jahren „am stick“, hält mehrere Weltrekorde und – absolviert die Tests so glänzend, dass man sie bittet, weitere Frauen für ein noch inoffizielles Ausbildungsprogramm zu benennen. Sein Name: WISE – Women in Space Education. Die Zahl der „First Lady Astronaut Trainees“ (FLAT), überwiegend nominiert von der renommierten

Vereinigung der US-Pilotinnen, den sogenannten Ninety-Nines, reduziert sich schließlich auf 13: „Mercury 13“.

Diese exzellenten Fliegerinnen absolvieren bei Lovelace in Albuquerque (New Mexico) die gleichen Tests zur körperlichen Fitness und Belastbarkeit, die für die Auswahl der „Mercury 7“ entwickelt worden waren. Damit nicht genug, drei Frauen unterziehen sich in einer zweiten Runde weiteren Tests und Jerrie Cobb absolviert sogar die dritte Runde.

Als nächste Station für alle ist die Naval School of Aviation Medicine in Pensacola (Florida) geplant, zwei Frauen geben ihre Jobs auf, um mitmachen zu können. Doch ein paar Tage, bevor es losgehen soll, kommt telegrafisch die Absage: Ohne dienstliche Anfrage der NASA werde die Navy keine Einrichtungen für inoffizielle Tests zur Verfügung stellen ...

Die Frauen intervenieren in Washington, schreiben an Präsident Kennedy, sprechen mit seinem Vize Lyndon B. Johnson. Im Juli 1962 kommt es zu einer zweitägigen Anhörung vor einem Ausschuss des Repräsentantenhauses, von „gender discrimination“ ist die Rede. Die wird schließlich zwei Jahre später im Civil Rights Act als illegal gebrandmarkt – aber das hilft den „Mercury 13“ nicht mehr. Die NASA beharrt darauf, dass Astronauten einen ingenieurwissenschaftlichen Hochschulabschluss aufweisen und zudem Militär-Testpiloten sein müssen. Anforderungen, die 1962 keine Frau erfüllen kann.

Zwei Jahre später fliegt Valentina Tereshkova ins All – „Diesen Erstflug hätten wir den Sowjets wirklich nicht überlassen müssen“, kommentieren die verhinderten US-Astronautinnen bitter. Kleine Genugtuung: 45 Jahre später wird den Mercury 13 von der University of Wisconsin die Ehrendoktorwürde verliehen. ●

Autor:

Der Essener Journalist Rolf Michael Simon widmet sich nicht nur bildungspolitischen Themen, sondern hat auch ein Faible für Raumfahrtgeschichte. Er war bis 2010 Ressortleiter Wissenschaft und Forschung der Neuen Ruhr / Neuen Rhein Zeitung (NRZ).

Weitere Informationen:

www.mercury13.com



„Die Frauen von Mercury 13 bewiesen Entschlossenheit, Stärke und Mut beim Wettlauf ins Weltall. Ihre bahnbrechenden Leistungen erleichterten den nachfolgenden Generationen den Weg. Die Universität ist stolz, solchen Pioniergeist zu würdigen.“

(Aus der Laudatio der Universität von Wisconsin zur Verleihung der Ehrendoktorwürde an die Mercury 13 im Jahr 2007)

Abschied und Aufbruch
am Kai in Bremerhaven

Marthas Reise in ein neues Leben

Mobilität ist aus unserem Leben nicht mehr wegzudenken: Wir fliegen in acht Stunden von Frankfurt nach New York, pendeln mit dem Zug oder Auto zu unserem Arbeitsplatz und wieder nach Hause. Vor 150 Jahren sah Mobilität noch ganz anders aus. Die Fernreise war selten und oft ohne Rückfahrkarte. Diesem besonderen Aspekt widmet sich das Deutsche Auswandererhaus in Bremerhaven: Zwischen 1830 und 1974 verließen mehr als 7,2 Millionen Männer, Frauen und Kinder über den größten deutschen Überseehafen ihre Heimat und begaben sich auf eine wochenlange, oft ungewisse Schiffsreise in die USA, nach Brasilien oder Australien.



Im „Ocean Cinema“ berichten Nachfahren deutscher Auswanderer von ihrem Leben

Im Deutschen Auswandererhaus in Bremerhaven

Von Elisabeth Mittelbach

Wer das am historischen Hafengelände von Bremerhaven gelegene und 2007 mit dem „European Museum of the Year Award“ ausgezeichnete Haus betritt, taucht ein in eine detailgetreu rekonstruierte und multimedial inszenierte Welt. Sie erscheint einem fremd und vertraut zugleich. Denn das Erlebnismuseum sammelt Einzigartiges: Lebensgeschichten von Auswanderern sowie persönliche Erinnerungstücke; insgesamt rund 2.000 fragmentarische Lebensläufe und etwa 80 vollständige Familiengeschichten.

Die Besucher begeben sich auf eine Zeitreise. Mit der elektronischen Eintrittskarte erhält jeder sein Schiffsticket – und mit ihm eine neue Identität. So schlüpfe ich für die nächsten zwei Stunden in die Figur von Martha Hüner. Eine junge Frau, Kindermädchen und Haushaltshilfe, die am 30. November 1923 am Kai in Bremerhaven ihrer Ausreise entgegensieht. In der

„Wartehalle“ treffen sich die Passagiere der dritten Klasse. Über eine knarrende Holztreppe mit ausgetretenen Stiegen gelange ich zum Hafen. Am nachgebauten Kai – umgeben von Koffern, Taschen und zwei Dutzend Auswanderern unterschiedlicher Epochen – stehe ich vor der mehrere Meter hohen Bordwand des 1887 fertiggestellten Schnelldampfers „Lahn“.

Erst in der „Galerie der sieben Millionen“ erfahren die Besucher, wer sich hinter der von ihnen angenommenen Identität verbirgt. Unzählige ebenholzfarbene Schubladen füllen den bibliotheksartigen Raum bis zur Decke. Jede Lade steht für ein Auswandererschicksal. Hörstationen geben Auskunft über ihre Motive, die Heimat zu verlassen. Martha Hüner kehrt auf Bitten ihrer bereits in den USA lebenden Tanten der von der Inflation gebeutelten Weimarer Republik den Rücken. In New Jersey lernt sie den Bäcker Willy Seegers kennen, heiratet ihn 1925 und betreibt bis zu seinem Tod 1962 mit ihm eine Bäckerei.

Über eine steile Gangway gelange ich nun an Bord. Ich sehe, wie die Passagiere des Seglers Bremen unter einfachsten Verhältnissen 1854 die sechswöchige Überfahrt erleben und wie mit dem technischen Fortschritt um die Jahrhundertwende die Fahrt schneller, sicherer und komfortabler wird. Bot die „Bremen“ 418 Passagieren Platz, die übrigens Matratze und Decke für den einfachen Schlafplatz im überfüllten Zwischendeck selbst mitbringen mussten, beförderte das Linienschiff „Columbus“ im Jahr 1929 in nur noch fünf Tagen 1.800 Personen nach New York.

Nach der Ankunft in „Ellis Island“ muss sich Martha Hüner wie alle anderen der Einwanderungsbehörde stellen. Sie beantwortet die 29 Fragen überwiegend richtig, ist gesund – und darf den „Registry Room“ passieren. Ihr neues Leben kann beginnen. ●



In der „Galerie der sieben Millionen“ können die Besucher Details aus der Biografie „ihrer“ Auswanderer erfahren

Mehr Informationen:
www.dah-bremerhaven.de

Rezensionen

Energie heute, morgen, übermorgen



Warum auf dem Cover das Licht ausgeht, bleibt ein Rätsel, denn das ist gar nicht das Thema von Johannes Winterhagens Buch **Abgeschaltet (HANSER)**. Auch trifft der Titel nicht ganz zu, sind doch in erster Linie die vielfältigen Möglichkeiten, erneuerbare Energien zu ernten, Gegenstand sowie die Hindernisse, die der Energiewende bislang im Weg stehen. Der Technikjournalist Winterhagen führt die Leser durch die Energiewelt, er besucht ein Geo- und Solarthermiekraftwerk, lotet alle Speichermöglichkeiten für Energie aus und fährt hinaus aufs Meer zur Anlagenwartung in einem Offshore-Park. Sein Buch ist eine fundierte Zusammenstellung aller derzeit relevanten Technologien.

Durch Fakten und Zahlen macht Winterhagen die unterschiedlichen erneuerbaren Energien vergleichbar, zeigt ihre Potenziale, aber auch die Grenzen und Nachteile für die Umwelt. Wer die Debatte um unsere Energie der Zukunft besser verstehen und mitreden will, sollte dieses Buch lesen. Und jeder kann es lesen, auch ohne umfassende technische und physikalische Vorbildung. Technologien und physikalische Phänomene werden an Alltagsbeispielen erklärt.

Die Zukunft der Energie wird derzeit heftig diskutiert und Winterhagen stellt sich dieser Auseinandersetzung immer wieder in persönlichen Fragen, auch das macht das Buch spannend und lädt den Leser ein, seinen eigenen Standpunkt zu suchen. Mit politischen Wertungen hält sich der Autor dabei weitgehend zurück. Experten und Forscher, die die Wege zur erfolgreichen Einführung der erneuerbaren Energien aufzeigen, kommen allerdings zu wenig zu Wort. Doch darüber lässt sich streiten, und dazu lädt Johannes Winterhagen ja ausdrücklich ein. Es geht schließlich um die Zukunft unserer Energieversorgung.

Dorothee Bürkle



Über das Thema Wetter zu mehr Wissen

Wissenschaft light hat Konjunktur. Da wird über Rätsel geschrieben, werden Phänomene erklärt, manchmal auch beides. Der Wissenschaftsjournalist (und Diplom-Geologe) Axel Bojanowski reiht sich mit seinem Taschenbuch **Nach zwei Tagen Regen folgt Montag und andere rätselhafte Phänomene der Erde (DVA, Spiegel Buchverlag)** ein in die Versuche, Wissen verständlich zu vermitteln. Mit leichter Hand skizziert er 33 erstaunliche Naturerscheinungen. Dabei verzichtet er weitestgehend auf Illustrationen, vertraut auf knappe Berichte, auf das Wesentliche verkürzte Erklärungsversuche der Forscher, historische Exkurse, originelle Zitate und Vergleiche zum besseren Staunen. Riesige Wasserhügel im Pazifik, afrikanische Staubgebläse, die in Südamerika den Regenwald düngen, und streunende Felsbrocken ziehen uns in ihren Bann. Geschickt wird der Leser von einem Kapitel ins nächste verfrachtet – das ist durchschaubar, aber man hat Spaß daran, zu sehen, was dem Autor wohl als Übergang zum nächsten Thema eingefallen ist.

Fast beiläufig erfährt man so Details von Tiefenbohrungen, die doch nur an der Erdoberfläche kratzen, von diversen Fehlschlägen bei Erdbebenvorhersagen und vom holprigen Weg zur Erkenntnis. Oder eben, dass man eigentlich nichts weiß. Dann greift Bojanowski schon mal in die journalistische Trickkiste, polarisiert, dramatisiert oder konstatiert: „Ein großes Rätsel um eine vermeintlich kleine Frage könnte also unmittelbar vor der Auflösung stehen.“ Das sagt nicht viel, hält aber die Spannung. Doch dank einer guten Spürnase für Informationsquellen und skurrile Details fügt sich am Ende alles zu einem Buch mit gutem Unterhaltungswert.

Dabei ist die Story, die den Titel liefert, wahrlich nicht die stärkste. Und das Cover kommt wolkenverhangen daher, Nebelschwaden statt Funken der Begeisterung. Doch die wohl portionierten Wissenshäppchen der etwas mehr als 200 Seiten naschen sich auf Balkon oder Terrasse einfach so weg und liefern Stoff für ein Schwätzchen übern Zaun. Und sei es über das schlechte Wochenendwetter – mit irgendwas muss man ja ins Gespräch kommen ...

Cordula Tegen

Immer wieder für eine Überraschung gut



Mit „Planet Erde“ hat die BBC bereits einen modernen Klassiker unter den Dokumentationen veröffentlicht. Die Serie **Frozen Planet – Eisige Welten (Polyband)** setzt auf dieselben Qualitäten: Die DVD-Reihe bringt den Zuschauer auf Augenhöhe mit Eisbären, Pinguinen und Dickschnabellummen. Zeigt im Zeitraffer die bizarre Schönheit, wenn die Natur von Reif bedeckt wird. Blickt aus der Luft auf Belugawale, die sich in der kanadischen Arktis die Haut an Flusskieseln schrubben. Das BBC-Team schafft es dabei, gleichzeitig Geschichten zu erzählen: Manche erscheinen grausam, wie das Team aus Orca-Walen, das mit seiner strategisch abgestimmten Bugwelle eine Eisscholle samt schmackhafter Robbe ins Schwanken bringt. Manche sind fast kitschig, wenn das neu zusammengefundene Pinguinpärchen gemeinsam durch die Kolonie wackelt.

Dazu kommen faszinierende Naturaufnahmen. Wissenschaft und Emotionalität halten sich dabei geschickt die Waage. Sieben Episoden (je 50 Minuten) zu den Themen „Pole der Welt“, „Frühling“, „Herbst“, „Winter“, „Am Ende der besiedelten Welt“ und „Auf dünnem Eis“ zeigen Kampf, Paarung und Aufzucht der verschiedenen Tierarten zwar immer wieder von Neuem –, aber die Aufnahmen sind so beeindruckend, dass das wirklich nie langweilig wird.

Manuela Braun



Lucky Luke im Orbit

In der Midlife-Crisis sehnt man sich schon mal nach einem anderen Leben. Das macht das amerikanische Filmdrama **Astronaut Farmer** von Michael Polish aus dem Jahr 2007 (**DVD und Blu-ray bei Koch Media**) zum Thema. Die Geschichte ist schnell erzählt: Der für die NASA tätige Astronaut Charles Farmer, gespielt von Billy Bob Thornton, gibt seinen Beruf auf und widmet sich – ganz zu seinem Namen passend – dem Betrieb einer Farm. Einige Jahre später holt ihn sein altes Leben ein, er vermisst die Arbeit als Astronaut und beschließt, im Alleingang – entgegen allen Widerständen – eine Rakete zu bauen. Alle halten ihn für verrückt, nur seine Familie steht wie ein Fels in der Brandung hinter ihm.

Bei einer solchen Geschichte muss man Kitsch und Pathos in Kauf nehmen. Dem Film fällt es schwer, einen stringenten Erzählton zu treffen. Er schwankt zwischen Ironie und Realismus, Naivität und Skurrilität, Drama und Komödie. Nicht umsonst wird der Film auch als „Independent-Komödie“ bezeichnet: Ein Astronaut auf einem Pferd, der wie Lucky Luke gen Sonnenuntergang reitet, ein Astronaut auf einem Kindertrampolin, eine waagrecht startende Rakete – wer schmunzelt da nicht? Doch wer ein Faible für Träumer hat, dem kann Astronaut Farmer durchaus Spaß bereiten. Betrachtet man den Film mit einer Portion Gelassenheit, dann haben die Filmemacher ein hoffnungsvolles Drama geschaffen. Wer sich also für 104 Minuten von all dem verabschieden kann, was ihn Schulphysik und Leben gelehrt haben, der erlebt eine rührende Geschichte über das, was möglich ist, wenn man an seinen Träumen festhält.

Miriam Kamin

Rezensionen



Und ewig lockt der Mond

Gut 300 Seiten hat Bernd Brunners Buch **Mond – Die Geschichte einer Faszination (Kunstmann Verlag)** –, doch die Fakten, die Brunner zusammengetragen hat, würden auch für 600 Seiten reichen. Literatur, Mondkarten, Filme, die Helligkeit des Mondes, die Auswirkungen der Mondphasen auf die Natur oder auch auf den menschlichen Körper: Brunner springt von Thema zu Thema, erzählt Absurdes, erklärt Wissenschaftliches und reißt Vieles kurz an – ohne dabei genüsslich zu verweilen. Ein paar Fakten weniger und dafür etwas mehr Zeit fürs Erzählen würden es dem Leser einfacher machen, die Faszination für den Mond zu erfahren.

Nichtsdestotrotz: Brunner hat viele spannende Themen in seinem Buch untergebracht und blickt dabei auch aus ganz unterschiedlichen, spannenden Perspektiven auf den Erdtrabanten. Statt Planetenforschung gibt es halt auch Philosophisches und Künstlerisches. Nur wenige Mondbücher bieten so eine große Spannweite an Themen. Auch die Illustrationen machen Spaß, denn sie zeigen, wie sehr die Menschheit über die Jahrhunderte hinweg vom Mond fasziniert war. Alte Mondkarten, Fotos, Kupferstiche oder Zeichnungen sind wunderschöne Hingucker und hätten dabei auch etwas Farbe vertragen – so bleibt es ein Vergnügen in Schwarzweiß.

MB



Wissenschaft vom Rad gefallen

Als „Hofnarr der Geschichte“ mitsamt „unsachlicher Beiträge“ kündigt der Verlag **WILEY-VCH** seinen Autor Michael Groß an. Der studierte Chemiker schreibt für Wissenschaftsjournale wie „Spektrum der Wissenschaft“ oder „Nachrichten aus der Chemie“. In **9 Millionen Fahrräder am Rande des Universums** sind 100 dieser Beiträge zusammengestellt. Allerdings: Ganz so witzig und nachvollziehbar, wie versprochen, sind die Kommentare des Chemikers dann doch nicht. Zwar löst er sich durchaus von der strikt wissenschaftlichen Sprache, erzählt zum Teil auch von Begebenheiten mit seinen Kindern –, doch das allein macht noch keine unterhaltsame Glosse oder einen pointierten Kommentar. Und ohne wissenschaftliche Vorbildung kann man dem Autor auch nicht immer folgen. Wenn er sich beispielsweise der Liebe und ihrer Chemie zuwendet, spricht er vom Nervenwachstumsfaktor NGF aus der Familie der Neutrophine, als müsste jeder Laie diesen Begriff kennen. Wenn er sich über Namensgebungen von Firmen mokiert, ruft er die IUPAC zu Hilfe – für Nichteingeweihte: die International Union of Pure and Applied Chemistry. Darüber mögen Wissenschaftler schmunzeln, Laien hingegen kann die Lust an dieser gutgemeinten, aber zu sorglos umgesetzten Artikelsammlung schnell vergehen.

MB



Die Tracht der Forschung

Das lange Haar mit einer schlichten Spange straff nach hinten gesteckt, Hemdkragen, Binder und Jackett verbergen die Weiblichkeit. Das Bildnis der Maria Gräfin von Linden, um 1920, fesselt die Betrachterin und auch der Betrachter findet es zumindest interessant. Unter welchen Umständen hat diese Frau gearbeitet? – Und schon hat die Fotografie etwas erreicht: Die Frage ist gestellt. Die Suche nach Antworten beginnt. Diese Antworten zu geben, ist nicht Sache des hier vorgestellten Katalogs zur Ausstellung **Das Antlitz der Wissenschaft. Gelehrtenporträts aus drei Jahrhunderten** (Herausgeber: Jörg Hacker und Katja Schneider), dazu muss man sich schon selbst auf den Weg machen. Das Vergnügen des liebevoll in Leinen gebundenen Büchleins liegt in der Anregung.

128 Seiten mit 98 Abbildungen dokumentieren die gleichnamige Ausstellung, die noch bis zum 8. Juli 2012 im Kunstmuseum des Landes Sachsen-Anhalt in Halle an der Saale zu sehen ist. 350 Darstellungen von Mitgliedern der Leopoldina, der Nationalen Akademie der Wissenschaften, zeichnen die Entwicklung des Gelehrtenporträts vom 17. bis zum 20. Jahrhundert nach. Die Bilderschau verfolgt die Entwicklung der Bildtechnik, vom Kupferstich bis hin zur Fotografie. Sie belegt, wie sich das Selbstbild des Gelehrtenstands über die Jahrhunderte verändert hat. Wir begegnen konventionellen Darstellungen unter Verwendung von Symbolen und der Standestracht, aber auch privaten Fotos. Wer es nicht nach Halle schafft, kann sich vom Katalog inspirieren lassen (auf Bestellung erhältlich unter: www.Kunstmuseum-moritzburg.de).

CT



Kosmisch schön und wissenschaftlich exakt

Aktualisierter Sammelband mit Beiträgen von DLR-Planetenforschern

29 verschiedene Beiträge in dem Bild-Text-Band bedeuten nicht nur eine Vielfalt an Themen, sondern auch sehr unterschiedliche Herangehensweisen der Autoren. In **Geheimnisvoller Kosmos – Astrophysik und Kosmologie im 21. Jahrhundert (WILEY-VCH)** finden sich deshalb neben Artikeln, die für Nichtwissenschaftler gut verständlich sind, auch Texte, die schon einige Fachkenntnisse voraussetzen. Auch die Grafiken und Illustrationen sind teilweise sehr anspruchsvoll und könnten interessierte Laien zunächst ein wenig abschrecken. Allerdings: Der Sammelband bietet einen guten Forschungsüberblick zu den Themen „Planetenwelten“, „Sterne und Schwarze Löcher“, „Observatorien heute und morgen“ sowie „Kosmologie und Teilchenphysik“ und wurde für die zweite Auflage aktualisiert und ergänzt.

Gleich mehrere Wissenschaftler des DLR-Instituts für Planetenforschung sind in dem von Thomas Bührke und Roland Wengenmayr herausgegebenen Sachbuch mit Beiträgen vertreten. Dr. Ernst Hauber berichtet über Klima-Umschwünge auf dem Mars und die Suche nach Wasser auf dem Roten Planeten mit Rovern auf der Planetenoberfläche und der europäischen Sonde Mars Express in der Umlaufbahn. Ulrich Köhler, Katrin Stephan und Roland Wagner widmen sich der Mission Cassini und erzählen von den „Eisigen Welten des Saturn“. Die Suche nach extrasolaren Planeten mit der CoRoT-Mission ist Thema bei Dr. Ruth Titz-Weider.

MB



Detektiv im All

Kinder-Hörbuch „Faust jr. – Der einsame Astronaut“ mit DLR-Experten

Wie wird man Astronaut? Und warum fliegen Menschen überhaupt ins All? – Elf Experten von DLR, ESA und vom Bochumer Planetarium spielen im aktuellen Fall der Kinder-Hörbuch-Reihe Faust jr. – Die Wissensdetektei mit und unterstützen Privatdetektiv Frank Faust alias Ingo Naujoks bei seiner Ausbildung zum „Einsamen Astronauten“. Das Hörbuch **Faust jr. – Der einsame Astronaut** ist im März 2012 im **Igel-Genius-Verlag** erschienen und richtet sich an Kinder ab 10 Jahren.

Im sechsten Fall von Frank Faust geht es um die Zukunft der bemannten Raumfahrt. Nach dem Ende der amerikanischen Spaceshuttle-Ära ist ein knallharter Konkurrenzkampf entbrannt, in dem alles andere als fair gespielt wird. Die entscheidende Frage: Wer bringt die Astronauten in Zukunft zur Internationalen Raumstation ISS? Russische Sojus-Raketen oder Raumschiffe privater Firmen? Faust, der chaotische Privatdetektiv aus Bochum, erhält von einem rätselhaften Unbekannten den Auftrag seines Lebens: Dazu muss er aber Astronaut werden – die mentalen und körperlichen Tests allein sind für den Genussmenschen schon das reinste Abenteuer. Glücklicherweise greifen ihm seine pfiffige Nichte Luna und die Experten von DLR und ESA in allen möglichen und unmöglichen Situationen unter die Arme ...

Die beiden Hörfunkjournalisten Sven Preger und Ralph Erdenberger haben einen Plot geschrieben, der den jungen Zuhörern die Herausforderungen des Astronauten-Berufs spannend, humorvoll und mit vielen Hintergrundinformationen näherbringt.

Elisabeth Mittelbach

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:
Jasmin Begli, Manuela Braun, Dorothee Bürkle,
Lena Fuhrmann, Miriam Kamin und Elisabeth
Mittelbach

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

Druck: Druckerei Thierbach,
45478 Mülheim an der Ruhr

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

ISSN 2190-0094

Onlinebestellung: www.DLR.de/magazin-abo

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

Bilder DLR, CC-BY 3.0, soweit nicht anders angegeben.



Deutsches Zentrum
DLR für Luft- und Raumfahrt