

Das DLR im Überblick

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

In den 13 Standorten Köln (Sitz des Vorstands), Berlin, Bonn, Braunschweig, Bremen, Göttingen, Hamburg, Lampoldshausen, Neustrelitz, Oberpfaffenhofen, Stuttgart, Trauen und Weilheim beschäftigt das DLR circa 6.500 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)

DLR-Kommunikation
Porz-Wahnheide, Linder Höhe,
51147 Köln
Telefon: 02203 601-2286
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
G 12625

Nachdruck nur mit Zustimmung des Herausgebers und Quellenangabe. Die fachliche Richtigkeit der Namensbeiträge verantworten die Autoren. Hinweis gemäß § 33 Bundesdatenschutzgesetz: Die Anschriften der Postbezieher des DLR-Magazins sind in einer Adressdatei gespeichert, die mit Hilfe der automatischen Datenverarbeitung geführt wird. Gedruckt auf umweltfreundlichem, chlorfrei gebleichtem Papier. Bilder DLR, soweit nicht anders angegeben.
© Titelbild: Olek389_pixelio.de



Weiter kommen mit der Batterie

Bessere Energiespeicher
für Elektrofahrzeuge

Orten ohne Fehler

DLR-Forscher setzen Standards für Galileo

Vorhang für den Verwandlungskünstler

25 Jahre Flugversuchsträger ATTAS

Zu zweit in die dritte Dimension

TanDEM-X – was den Formationsflug so besonders macht



Liebe Leserinnen und Leser,

Ist Neues immer gut? Oder Bewährtes doch besser? Im Zusammenhang mit Web 2.0-Formaten ist das auch bezüglich der vom DLR produzierten Medien eine umstrittene Frage. Werden wir in Zukunft nur noch elektronische Zeitungen und Magazine lesen oder uns weiter die Finger von der Tageszeitung schwärzen lassen? Handgeschriebene Briefe gibt es kaum noch. Aber wird sich wirklich der eBrief durchsetzen? Und was bringen die sogenannten Web 2.0-Formate? Muss ein Forschungszentrum wie das DLR Microblogging betreiben, sich auf Social-Media-Plattformen bewegen und einen bloggenden Vorstandsvorsitzenden haben? Seit Anfang des Jahres bloggt Professor Johann-Dietrich Wörner, seine Blogbeiträge schreibt er höchstpersönlich. Die Aktion erfreut sich wachsender Beliebtheit. Besonders schön ist, dass der Blog auch von vielen DLR-Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern gelesen wird. Wir verstehen nicht nur „Jan Wörners Blog“, sondern die gesamte Plattform DLR-Blogs als Gedankenaustausch, als Möglichkeit, auch die kleinen Themen zu platzieren und zu diskutieren: Jede per Kommentar gestellte Frage wird beantwortet.

Umstrittener ist bis heute das Twittern. Die Kurznachrichten mit maximal 140 Zeichen sind einfach nicht jedermanns Sache – vor allem dann nicht, wenn die Tweets belanglos sind. Viele Wissenschaftler fürchten um die Seriosität. Für das DLR ist Twitter ein Kommunikationskanal unter vielen, die es zu beachten und im Einzelfall proaktiv zu nutzen gilt. Zusatzinformationen in Form von Links werden fast immer mitversendet, die Quelle für detaillierte Hintergrundinformationen wird also gleich mitgeliefert. Im Rahmen der Echtzeitkommunikation via Twitter hat das DLR viele neue Interessenten gewonnen. Und besonders freut uns die überwiegend junge Zielgruppe, die wir damit erreichen. Das DLR engagiert sich folglich auch auf anderen, wichtigen „Social-Media-Plattformen“.

Für eine moderne Forschungseinrichtung kann es nicht mehr um die Frage gehen, ob sie diese Plattformen nutzt, sondern nur noch um die Frage, wie sie diese nutzt. Der DLR-Kommunikation ist an einer guten Mischung der unterschiedlichen Formate gelegen. Die klassische Pressearbeit ist nach wie vor ein Schwerpunkt, um den wir uns intensiv kümmern. Diese wichtige und aufwändige Aufgabe bildet gemeinsam mit dem Webportal www.DLR.de – der zentralen Informationsplattform des DLR, die wir derzeit einer umfangreichen Neugestaltung unterziehen – und unseren Veranstaltungen die Grundpfeiler der Kommunikation. Wichtig ist, dass alle Formate ineinandergreifen – ein Aspekt, der eine erfolgreiche Kommunikation ausmacht.

Unser bewährtes DLR-Magazin indessen, das Sie gerade in den Händen halten, wird es nach wie vor auch gedruckt geben – trotz oder gerade wegen der aktuellen Entwicklungen.

Sabine Göge
Leiterin DLR-Kommunikation

DLR magazin127



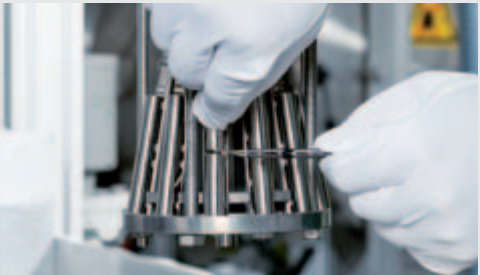
Rendezvous mit (21) Lutetia

Ein letzter Blick zurück auf (21) Lutetia: Das Bild entstand nach einem perfekten Rendezvous der Raumsonde Rosetta mit dem Asteroiden (21) Lutetia 455 Millionen Kilometer von der Erde entfernt. Die ESA-Sonde passierte den etwa 100 Kilometer großen Asteroiden in einer Distanz von nur 3.162 Kilometern. Danach wurde der europäische Kometenspäher gegen die Flugrichtung gedreht und machte mit der deutschen OSIRIS-Kamera diese Aufnahme der zum größten Teil von der Sonne abgewandten Hemisphäre des Planetoiden. Vom streifenden Sonnenlicht angestrahlt, erkennt man einen über 30 Kilometer großen Einschlagskrater. Der präzise Vorbeiflug und die wie geplant durchgeführten Experimente krönten die meisterhafte, jahrelange Vorbereitung der Mission, an der das DLR in großem Umfang beteiligt ist.

Während Rosetta nun Kurs auf sein eigentliches Ziel nimmt, den Kometen Churyumov-Gerasimenko, den sie 2014 erreichen wird, werten die Wissenschaftler die Daten vom (21) Lutetia-Vorbeiflug aus.

54

| | |
|--|----|
| Editorial | 3 |
| EinBlick | 4 |
| Leitartikel | 6 |
| Weiter kommen mit der Batterie Bessere Energiespeicher für Elektrofahrzeuge | 8 |
| Den Vorteil erfahren Randbedingungen künftiger Elektromobilität | 12 |
| Meldungen | 14 |
| Ganz genau – orten ohne Fehler DLR-Forscher setzen Standards für Galileo | 18 |
| Sicher über den Bahnübergang Kameras für effizienten Schienenverkehr | 22 |



Stärke durch Kombination
Neue Materialien für eine sichere Luftfahrt 24

Ausgezeichnete Bauweise
Messe-Erfolg der DLR-Werkstoffforscher 28



Was heißt hier schon der Reihe nach?
Unterstützungssysteme für Fluglotsen 30

Emissionen: ein Problem für das Klima
Ergebnisse des europäischen Atmosphärenforschungsjahrprojekts QUANTIFY 34

Vorhang für den Verwandlungskünstler
25 Jahre Flugversuchsträger ATTAS 38

Kommentar 40



Interview
TanDEM-X: Zu zweit in die 3. Dimension 42

Die Erde – ein Unikat?
Allianz Planetenentwicklung & Leben 48

Rendezvous mit (21) Lutetia
Betrachtung zum Rosetta Fly by 54

Regionalmeldungen 56



Besserer Weg zum Markt
Das Projekt „Enabling Innovation“ 58

Aufwind für die Promotion
Ein Jahr DLR_Graduate_Program 60

Präzision mit Strahlkraft
50 Jahre Laser 62



In Museen gesehen
Der Geist der Do lebt! 66

Rezensionen 70

EinBlick

Cryobrines auf dem Mars

Als Cryobrines bezeichnen Wissenschaftler Salzlösungen, die den Schmelzpunkt von Wasser extrem erniedrigen. Sie könnten ein Medium darstellen, das primitiven Organismen auf dem Mars die Möglichkeit zum Überleben gibt.

Pures, „salzfreies“ Wasser ist auf der Marsoberfläche nicht stabil. DLR-Forscher fanden mit Experimenten und Modellrechnungen heraus, dass Cryobrines auf dem Mars existieren könnten. Spektrometer-Untersuchungen und 3-D-Bilder der vom DLR betriebenen Marskamera HRSC auf der Sonde Mars Express liefern Hinweise auf Salze, die in einem flüssigen Medium auskristallisierten.

In diesem Falschfarben-Perspektivbild deuten helle Schichten an den Hängen von mehrere tausend Meter hohen Bergen in Candor Chasma auf Sulfate wie Gips oder Kieserit hin.

Energiesicherheit und Mobilität brauchen neue Ideen

Von Prof. Dr.-Ing. Ulrich Wagner



Energiedienstleistung und Mobilität sind zwei existenzielle Grundbedürfnisse des Menschen, deren Nachfrage in den nächsten Jahrzehnten weltweit drastisch zunehmen wird. Die Folgen sind bekannt: zunehmende Ressourcenknappheit, Umweltprobleme und Klimafolgen. Die DLR-Schwerpunkte Energie und Verkehr widmen sich mit ihrer Forschung den großen Herausforderungen, die sich aus diesem Spannungsverhältnis ergeben. Sie verfügen heute über fundierte und in ihrer Ausrichtung einmalige Portfolios, die von der Grundlagenforschung bis zur Anwendung reichen. Dabei profitieren Energie wie Verkehr von den vielfältigen Synergien untereinander ebenso wie von der vorhandenen Expertise in Luft- und Raumfahrt. Im Bereich Energie fokussiert das DLR seine Arbeit auf innovative Stromerzeugung, thermische und elektrische Energiespeicherung sowie Energiesystemanalyse. Im Verkehr stehen Straßen- und Schienenfahrzeuge, Verkehrsmanagement und das Verkehrssystem als Ganzes im Zentrum.

Um die besonderen Kompetenzen des DLR noch besser zu nutzen und auszubauen, werden in der Energieforschung beispielsweise die weltweit beachteten Aktivitäten in der Solarforschung (u. a. die Erarbeitung des Desertec-Konzepts) durch die Gründung eines eigenen Solarforschungsinstituts mit einer Versuchsanlage in Jülich erweitert. Die Batterieforschung wird durch Beteiligung an einem neuen Batterieforschungszentrum der Helmholtz-Gemeinschaft intensiviert. Und das Thema dezentrale Gasturbinensysteme wird stärker bearbeitet. Als Explorationsthema werden wir die aerodynamische Optimierung von Windkraftanlagen aufnehmen. Ebenfalls ein Gebiet, das wir weiter erschließen wollen, ist die Niedertemperatur-Stromerzeugung auf Basis von regenerativer Energie oder Abwärme aus industriellen Prozessen, damit erweitern wir das bereits aufgenommene Thema der thermoelektrischen Stromerzeugung.

Im Verkehrsbereich wurden durch den Start der „Anwendungsplattform Intelligente Mobilität“ in Braunschweig und das Projekt „Next Generation Train“ inhaltlich und methodisch neue Akzente gesetzt. Auch für das aktuelle Thema der Elektromobilität ist das DLR bestens gerüstet: Neben der Entwicklung verbesserter Fahrzeugkomponenten wie Batterie oder Brennstoffzellen wird das DLR vor allem wichtige Beiträge zur verkehrstechnischen Integration der Elektromobilität liefern. Bei Letzterem gilt es, die bislang bestehenden Nachteile von Elektrostraßenfahrzeugen hinsichtlich Reichweite und Ladedauer durch geeignete Technologien zu kompensieren. Dazu widmen wir uns Themen wie der energieoptimierten Navigation für Zielführung und Aufladen, co-modaler Assistenz und innovativen Mobilitätskonzepten.

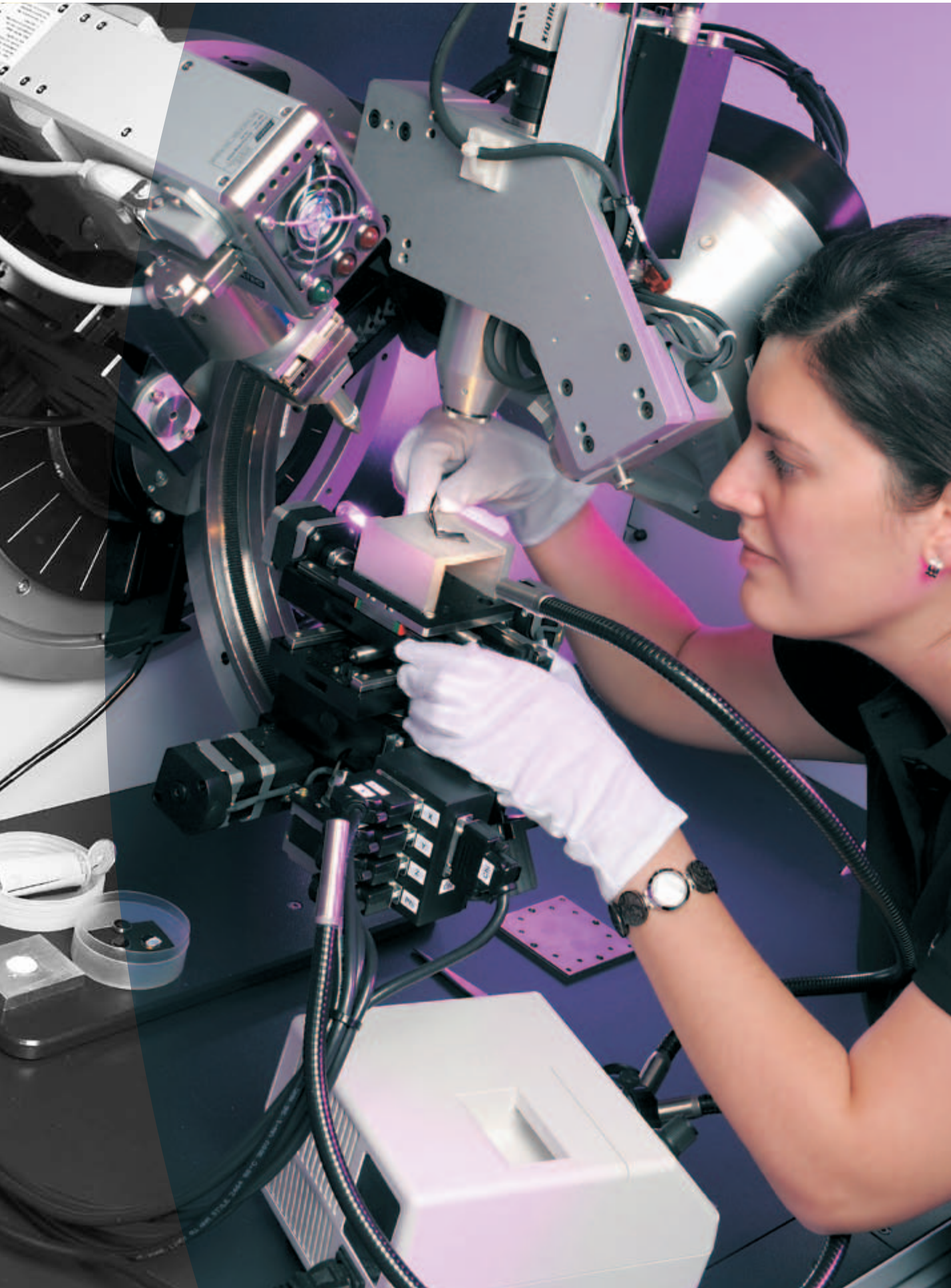
Umweltschonende Energie- und Verkehrssysteme sind Megathemen auch für weitere 50 Jahre. Die DLR-Forschungsbereiche Energie und Verkehr werden in den kommenden Jahren verstärkt, unter Beibehaltung der einzigartigen Bandbreite von Grundlagen- bis Anwendungsforschung. Energie- und Verkehrsforschung müssen zudem innerhalb des DLR, in der Helmholtz-Gemeinschaft und ganz besonders in der Öffentlichkeit noch sichtbarer werden und wesentliche Bestandteile der DLR-Mission sein.

Ich freue mich auf breite Unterstützung, konstruktive Gespräche, erfolgreiche Projekte und wünsche allen Beteiligten einen guten Wirkungsgrad!

Prof. Dr.-Ing. Ulrich Wagner ist seit dem 1. März 2010 DLR-Vorstand für Energie und Verkehr. Der gebürtige Passauer studierte Elektrotechnik in Bogotá und an der Technischen Universität (TU) München. Bis heute ist der ehemalige Dekan der Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik der TU München Mitglied im Vorstand der VDI-Gesellschaft Energietechnik (GET) und im Forum Technologie der Bayerischen Akademie der Wissenschaften. Ulrich Wagner ist verheiratet und Vater dreier Kinder.

www.DLR.de/energie
www.DLR.de/verkehr





Weiter kommen mit der Batterie

Elektrofahrzeuge gibt es bereits seit mehr als 100 Jahren. Früh wurde erkannt, dass ein Elektromotor einen deutlich höheren Wirkungsgrad hat als der Verbrennungsmotor. Nicht befriedigend gelöst werden konnte indessen das Problem der Energieversorgung. Die Endlichkeit fossiler Brennstoffe und deren Umweltbelastung, aber auch bessere Speichermöglichkeiten machen Elektrofahrzeuge heute wieder interessant. Auch im DLR arbeitet man daran, sie zukunftsfähig zu machen.

Bessere Energiespeicher können den Umstieg auf Elektrofahrzeuge erleichtern

Von Carl-Josef Kutzbach, freier Wissenschaftsjournalist

Nutzerwünsche und Elektrochemie entscheiden über die Umweltfreundlichkeit des zukünftigen Verkehrs

Wie ein kleiner Panzerschrank sieht das Kalorimeter im Labor des Instituts für Technische Thermodynamik beim DLR in Stuttgart aus. Hinter der dicken Isolierung verbirgt sich eine Kammer, in der die Wärmeentwicklung in Batterien genau gemessen wird. Sie verrät den Forschern, was in der Batterie vorgeht.

Dass man wieder Batterien für Fahrzeuge erforscht, hängt mit den vom Verbrennungsmotor geprägten Gewohnheiten zusammen, erklärt Prof. Dr. rer. nat. Andreas Friedrich, der die Abteilung Elektrochemische Energietechnik leitet: „Wir erwarten, dass Fahrzeuge lange fahren können und auch ständig bereitstehen zum Fahren. Das sind die Herausforderungen für eine wichtige Technik der Elektromobilität: die Batterie.“

Könnten Autofahrer ihre Batterien an entsprechenden Stationen tauschen, wie einst die Pferde zur Kutschenzeit, wären längst viel mehr Elektrofahrzeuge im Einsatz, so ähnlich, wie die Elektrokarren auf Bahnhöfen.

„Die Energiedichte, in diesem Fall die Dauer der Energieabgabe durch eine Batterie, ist nicht ausreichend fürs Automobil. Man hat momentan eine Reichweite von maximal 150 bis 160 Kilometer, aber nur mit der fortgeschrittensten Batterietechnik. Mit der Standardbatterie kommen wir gerade mal auf 100 Kilometer. Auch die Ladezeiten sind entsprechend.“

Das Laden dauert sechs bis acht Stunden, die Batterien sind groß, schwer und teuer. Will man das ändern, steckt der Teufel im Detail, weil man den chemischen Vorgang, bei dem Energie in Form von elektrischem Strom frei wird, also das Entladen, beherrschen muss. Zudem muss diese chemische Reaktion rückwärts ablaufen können, um die Batterie wieder aufzuladen.



Prof. Dr. K. Andreas Friedrich leitet die Abteilung Elektrochemische Energietechnik im DLR-Institut für Technische Thermodynamik und ist Professor für Brennstoffzellentechnik an der Universität Stuttgart. Seine Abteilung zählt circa 50 Personen. Ein Schwerpunkt der systemtechnischen Arbeiten ist seit einigen Jahren die zivile Luftfahrtanwendung.

Professor Friedrichs Mitarbeiter, etwa 50 an der Zahl, untersuchen neben Lithium-Ionen-Batterien auch herkömmliche Batterien, um sie besser zu beurteilen. „Wir entwickeln diagnostische Methoden, um zu verstehen, in welchem Zustand sich die Batterie gerade befindet.“ Der Ladezustand kann so viel besser erfasst werden, als noch vor wenigen Jahren. Genauso untersuchen die Wissenschaftler die Frage, wie die Batterie auf Ladestrom reagiert, dem man verschiedene Frequenzen aufgeprägt hat. Daraus lässt sich ihr Zustand ablesen, etwa wie lange sie noch funktionieren wird. Mit diesen Daten werden im Rechner Modelle von Batterien entwickelt, die dann Grundlage für weitere Experimente sind.

Die richtigen Stoffe zu finden, genügt nämlich nicht. Für jedes Stoffgemisch muss auch der passende Elektrodenaufbau gefunden werden, damit der Strom optimal fließt: „Wir brauchen in der Batterie tatsächlich Nanotechnologie. Das heißt, wir müssen möglichst kleine Partikel verwenden, damit wir dieses Material, in dem ja die Energie drinsteckt, auch wirklich optimal ausnutzen. Wichtig ist auch, dass dieses Material mit dem Elektrolyten benetzt ist. Man kann sich die Struktur dieser Elektrode vorstellen wie einen Schwamm, der sehr gut benetzt wird.“ ‚Benetzt‘ meint hier einen guten Kontakt, egal, ob es sich um einen flüssigen oder festen Elektrolyten handelt.

Die Elektrode verändert sich beim Be- und Entladen, also muss auch das berücksichtigt werden, denn davon hängt es ab, wie oft eine Batterie wieder beladen werden kann, wie rasch sie altert. Aktuell käufliche Akkus erreichen rund 1.000 Ladezyklen. Das genügt nicht. Andreas Friedrich: „Für die Automobilanwendung brauchen wir mindestens 4.000 Zyklen!“

Die Lithium-Ionen-Batterien waren zwar ein deutlicher Fortschritt in der Energiedichte, aber wenn mehr Energie auf engem Raum gespeichert wird, wachsen auch die Gefahren: „Sie haben eine Energiedichte von etwa einem Drittel von TNT (Sprengstoff). Es hat bei Laptops und Handys schon Unfälle gegeben, bei denen die Batterie durchgebrannt oder explodiert ist.“ Deshalb wird die Sicherheit immer wichtiger. „Man muss Systeme konstruieren, die inhärent sicher sind, oder zumindest mit Schutzschichten so gestalten, dass es keine Überhitzung geben kann.“ Ob das gelingt, wird auch mit dem Kalorimeter im Keller des Stuttgarter Instituts geprüft.

Da die Reaktion, wenn sie mal angefangen hat, schlecht zu stoppen ist, wird Vorsorge getroffen, etwa durch einen Elekt-

rolyten, der bei höherer Temperatur nicht mehr leitfähig ist, oder eine Beschichtung, die bei höheren Temperaturen die Reaktion blockiert. Aufbau und Herstellung moderner Batterien sind also recht kompliziert. Zunächst braucht man nasschemische Syntheseverfahren, um die kleinen Partikel herzustellen. Die Elektroden werden dann auf einem leitfähigen Kern durch Aufspritzen oder Walzverfahren in dünnen Schichten aufgebaut.

In einem kleinen Reinraum, in den eine Mitarbeiterin durch Handschuhe hineingreift (so ähnlich, wie bei einem Inkubator für Frühgeborene) wird die Batterie unter Luftausschluss montiert. Dann wird getestet.

„Wir haben Batterieanalyse-Werkzeuge geschaffen und wir schauen uns – zum Beispiel mit einem Computertomographen, aber auch mittels Rasterelektronen-Mikroskopie – an, wie sich die ganzen Strukturen im Laufe der Zeit verändern.“ Aus diesen Diagnose-Daten wird ein Werkzeug zum optimalen Betrieb entwickelt. Professor Friedrich: „Beim Beladen ist es wichtig, den Zustand zu kennen, damit man die Batterie nicht überlädt. Das Wissen wird dann in ein Batteriemanagement-System integriert. Das ist eine schnelle Software, die sämtliche Erkenntnisse berücksichtigt und für dieses eine Batteriesystem den optimalen Betrieb kennt.“ So soll verhindert werden, dass das Elektroauto mit leerer oder defekter Batterie liegen bleibt.

Wichtig ist zudem die Regelung der Wärme in der Batterie; zum Verhüten des Durchbrennens, aber auch beim Kaltstart des Fahrzeugs. Das lässt sich durch Mikrorohre (heat pipes) in der Batterie erreichen, die mittels einer Flüssigkeit Wärme in der Batterie verteilen, sie also automatisch oder elektrisch über Peltier-Elemente klimatisieren.

Bei allen neuen Batterien muss das Recycling mit bedacht werden, nicht nur wegen der Umwelt, sondern weil manche Rohstoffe knapp werden. Je komplizierter der Batterieaufbau, desto schwieriger wird es, Recycling-Verfahren zu entwickeln, die alle wertvollen Stoffe herausholen und nur einen ungefährlichen Rest übrig lassen. Ohne Recycling könnten rare Materialien die Batterien rasch unerschwinglich teuer machen.

Alle diese chemischen, elektrischen, thermischen, konstruktiven und die Umwelt schützenden Rahmenbedingungen machen Hochleistungsbatterien teurer. Das soll bei Systemen der vierten Generation anders werden.

„Das sind Systeme, die aufgrund ihrer Komponenten sehr billig sein sollten, aber auch sehr umweltfreundlich. Zum Beispiel die Lithium-Schwefel-Batterie: Da verwendet man metallisches Lithium auf der einen Seite und auf der anderen Seite hat man Schwefel. Der ist relativ billig und belastet nicht die Umwelt.“ Diese Systeme versprechen theoretisch eine zehnfache Energiedichte im Vergleich zu heutigen Batterien.

Aber noch hat man die Reaktionen nicht im Griff. Es drohen innere Kurzschlüsse, Selbstentladung, zu wenige Ladezyklen, weil die Elektroden rasch altern, sodass am Institut neue Konzepte erarbeitet werden, die das verhindern.

Langfristig reizt die Forscher eine ‚atmende Batterie‘. Andreas Friedrich: „Das Ultimative ist das Lithium-Luft-System. Da hat man Lithium als Leichtmetall; der Sauerstoff kommt aus der Luft. Deshalb spricht man vom Lithium-Luft-System.“ Den Sauerstoff braucht man nicht zu speichern. Daher ist dies eine besonders leichte Batterie. Da die Reichweite auch vom Gewicht der Batterie abhängt, ist das ein Vorteil. Wann dieses System in die Praxis kommt, ist schwer zu sagen, weil eben noch grund-

legende Probleme zu lösen sind. Professor Friedrich: „Wenn diese Probleme gelöst sind, benötigt man noch etwa fünf Jahre, um die Produktion aufzubauen, denn das ist für die Planung und für den Bau der zugehörigen Fabrik notwendig. Bei kontinuierlicher Entwicklung ohne einen Durchbruch würde das bedeuten, dass wir etwa in zehn Jahren soweit sein könnten ...“.

Bis zum breiten Einsatz von Elektroautos dürfte es sogar noch etwas länger dauern, weil Elektroautos ganz anders als heute aussehen könnten. Kleine Elektromotoren beispielsweise könnten in eine Radnabe passen. Müssen die Autohersteller unter Umständen ganz neue Fahrzeuge konstruieren? – Professor Friedrich: „Sicher, weil die ganzen Designs die Batterietechnologie mit berücksichtigen müssen. Die Batterie ist im Prinzip auch modular. Das heißt, Sie müssen Batterien nicht alle an einem Ort lagern, sondern können sie auch verteilen über das Automobil, oder Sie können sie sogar auch in die Karosserie mit einbauen, gerade an den Stellen, wo Sie vielleicht ein bisschen mehr Masse in der Karosserie benötigen.“

Sehr verlockende Ziele, die sich allerdings nur erreichen lassen, wenn der Preis für Energie nicht explodiert. Sonst könnte der große Aufwand für solche Hochleistungsbatterien samt deren Recycling die Markteinführung verhindern. Im Fall steigernder Energiepreise würden die neu entwickelten Analyse- und Diagnose-Verfahren und das damit erworbene Wissen den Forschern aber erlauben, den sehr viel billigeren Bleiakкумуляtor weiter zu verbessern. Die Forschung lohnt sich also in jedem Fall.

Autor:

Carl-Josef Kutzbach,
freier Wissenschaftsjournalist

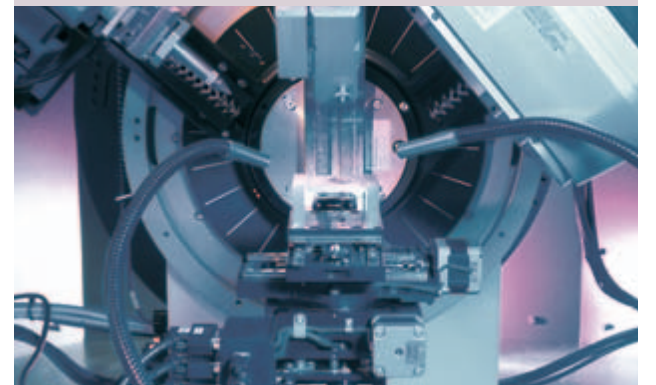
Weitere Informationen:

www.DLR.de/TT

Das Batterie-Prinzip

Sehr vereinfacht sind in einer Batterie zwei Stoffe, die miteinander reagieren können. Damit sie das nicht schlagartig tun (Explosionsgefahr), trennt man sie durch eine Wand. Dann bietet man den Elektronen – über die Pole der Batterie – einen Weg an, der um die Wand herum führt. In der Batterie schließt ein Ionenleiter den Stromkreis. Den Elektronen-Strom kann man dann nutzen. Die Elektroden aus den beiden Stoffen werden von Lösemittel, dem Elektrolyt, umgeben. Erst der Elektrolyt ermöglicht die elektrochemische Reaktion.

Ansicht des neuen Röntgen-Diffraktometers, es ermöglicht die Untersuchung von Batterie-Materialien und kompletten Batteriezellen



Hochleistungszellen werden in das Batteriekalorimeter eingebaut, um ihr thermisches Verhalten zu untersuchen



DLR-Chemikerin Dr. Şeniz Sörgel charakterisiert Batteriematerialien im neuen Röntgen-Diffraktometer



Den Vorteil erfahren

Elektromobilität gilt als Zukunftsthema. Doch Elektrofahrzeuge sind bereits in unserem Alltag angekommen. In den nächsten Jahren werden sie mehr und mehr das Straßenbild vor allem der Städte prägen. Politik und Gesellschaft knüpfen hohe Erwartungen an Elektromobilität und verstehen sie als Schlüsseltechnologie. Ein hoher Anspruch. Noch sind viele Fragen zu klären. In einer gemeinsamen Studie untersuchen Forscher der Universität Oldenburg und des DLR, unter welchen technischen, logistischen wie auch wirtschaftlichen Randbedingungen das Konzept Elektromobilität tragfähig ist und zu welchem Zeitpunkt es sich in der Breite erfolgreich am Markt etablieren lässt.

DLR und Universität Oldenburg untersuchen Randbedingungen künftiger Elektromobilität

Von Dr. Frank Köster, DLR, und Benjamin Wagner vom Berg, Universität Oldenburg

Automobilhersteller, Zulieferer und die Energiewirtschaft ebenso wie Serviceprovider und Car-Pool-Anbieter suchen nach Betriebs- und Geschäftskonzepten in einem lukrativen Markt mit Raum für kreative Produktausgestaltungen. Gemeinsames Interesse ist es, nicht nur einzelne Fahrzeuge anzubieten, sondern einen Service für Mobilität. Zwei Schlüsselfragen stellen sich: Wie kommt die elektrische Energie in die Fahrzeuge und wie lässt sich die geringe Kapazität der Speichersysteme erhöhen? Die Frage des Energietransfers wirkt sich unmittelbar auf die Nutzung der Fahrzeuge aus – wer will schon langes Warten auf das Laden der Energiespeicher in Kauf nehmen, von den komplexen logistischen Fragestellungen ganz zu schweigen. Wie lassen sich beispielsweise genügend geladene Speichersysteme an Austauschstationen bereitstellen? Ein Königsweg, der alle Fragen befriedigend beantwortet, ist nicht in Sicht. Technologien, die Elektromobilität auch finanziell attraktiv machen, sind nach wie vor eine Zukunftsaufgabe.

Doch in Teilmärkten etablieren sich bereits unterschiedliche Betreiber- und Geschäftsmodelle, passend zu deren jeweiligen Stärken und Schwächen. Verzichtende Nutzer beispielsweise auf ihr persönliches Fahrzeug, können intelligente Car-Pooling-Konzepte Wartezeiten kompensieren. Einige technische Eigenheiten lassen sich durch Kombination mit alternativen Mobilitätsservices ausgleichen. Für lange Strecken könnten so Bahnfahrt und Car-Pooling-Dienste am Zielort kombiniert werden. Für spezielle Mobilitätsdomänen, wie für ausgewählte Zweige des Gütertransports, könnten auch Batterie-Austausch-Konzepte durch geeignete logistische Prozesse kosteneffizient umgesetzt werden. Die Forschung ist nach wie vor gefordert: Gefragt sind Innovationen für Antriebs- und Energiespeichertechnik von Elektrofahrzeugen, Nutzungskonzepte und die damit verknüpfte Infrastruktur. Das ist die Grundlage für eine effektive Elektromobilität.

Darüber hinaus eröffnen elektrische Fahrzeuge neue Potenziale für ein hochwertiges, konkurrenzfähiges Mobilitätsangebot. Durch die elektrische Ansteuerung lassen sich neuartige Assistenz- und Automationssysteme realisieren, die für den Endverbraucher als Vorzug im wahrsten Sinne des Wortes erfahrbar sind. So können technische Innovationen zu einer höheren Akzeptanz und Attraktivität und damit zu einer raschen, erfolgreichen Einführung von Elektromobilität beitragen.

Die dafür erforderliche ganzheitliche Sicht auf das komplexe Verkehrssystem verschafft sich das DLR mit der Anwendungsplattform Intelligente Mobilität (AIM). Das Großprojekt umfasst Forschungen im realen Umfeld von Stadt und Umland Braunschweigs, spezielle Teststrecken und ein leistungsfähiges Instrumentarium zur Simulation und Beeinflussung von Verkehrsflüssen und Fahrverhalten. So lassen sich Innovationszyklen verkürzen und Wissen sowie Technik schnell und verantwortungsvoll in praktische elektromobile Anwendungen überführen.

Autoren:

Frank Köster leitet die Abteilung Automotive im Institut für Verkehrssystemtechnik des DLR. Er studierte Informatik mit Nebenfach Psychologie, Promotion im Jahr 2001, habilitiert wurde er 2007. In seiner aktuellen Forschung befasst sich Frank Köster mit unterschiedlichen Aspekten der Assistenz und Automation im Kontext intelligenter Mobilitätskonzepte. Er ist über verschiedene Lehrveranstaltungen an der Universität Osnabrück und der Carl von Ossietzky Universität in Oldenburg mit der universitären Lehre verbunden.

Benjamin Wagner vom Berg ist wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Abteilung Wirtschaftsinformatik / Very Large Business Applications der Carl von Ossietzky Universität Oldenburg. Er hat Wirtschaftswissenschaften studiert und u. a. drei Jahre im Bereich regenerativer Energien und acht Jahre als Berater für Customer Relationship Management (CRM) gearbeitet. Seine Forschungsaktivitäten stellen Nachhaltigkeitsaspekte des CRM im Bereich der Elektromobilität in den Mittelpunkt.

Weitere Informationen:

www.DLR.de/ts
<http://vlba.wi-ol.de>

Senkrecht-Start: Fliegen mit dem Vorteil des Hubschraubers

Der Vision vom Senkrecht-Start zu einem Kurzstreckenflug ist man ein Stück näher gekommen. Im DLR Braunschweig hat das Modell eines Kipprotor-Flugzeugs in diesen Wochen Tests im Windkanal zu bestehen. Das Fluggerät, das den Vorzug des raumsparenden Starts mit dem des schnellen Fluges vereint, könnte in Ballungsräumen Flughäfen entlasten.

Das DLR forscht daran im EU-Projekt NICETRIP (Novel Innovative Competetive Effective Tilt Rotor Integrated Project). Bis zu 22 Passagiere können so mit einer Geschwindigkeit von bis zu 650 Kilometer pro Stunde transportiert werden. Das Kipprotor-Flugzeug, englisch Tiltrotor Aircraft, startet wie ein Hubschrauber und setzt nach Erreichen der Reiseflughöhe den Flug mit nach vorn gekippten Rotoren fort. In dieser Phase wird der „Flugschrauber“ wie ein Propellerflugzeug angetrieben. Für die wieder senkrecht erfolgende Landung werden die Rotoren erneut nach oben gestellt. In zehn Jahren könnte die Vision für ein Geschäftsflugzeug Realität sein.

www.DLR.de/tiltrotor



Das Bild zeigt das Windkanalmodell des Kipprotor-Flugzeugs mit den unterschiedlichen Einstellungen der Rotoren: Für den Start sind die Rotoren wie bei einem Hubschrauber nach oben gestellt.



Außenansicht auf die Container im Moskauer Institut für Biomedizinische Probleme (IBMP). In diesen Containern findet die Mars500-Studie statt.

Im Mars500-Simulationslabor: auf der Hälfte des Hinwegs

Anfang Oktober 2010 ist die Hälfte des Wegs zum Mars geschafft, zumindest im Simulationslabor des Projekts Mars500. Dann ist Halbzeit auf der „Hinreise“ zum Roten Planeten; 125 der 250 dafür kalkulierten Tage sind vorüber. Am 3. Juni dieses Jahres hatte sich die sechsköpfige Crew in einen Container im Moskauer Institut für Biomedizinische Probleme einschließen lassen. Inklusive Mars-„Aufenthaltszeit“ und „Rückreisezeit“ haben sie an insgesamt 520 Tagen die Isolation eines Langzeitfluges zu meistern. Mit Ausnahme von Schwerelosigkeit und Strahlung werden die Bedingungen im All möglichst real simuliert. Insgesamt 100 Versuche in Psychologie, Psychophysiologie, klinischer Diagnostik, Physiologie und Mikrobiologie sind während der Mission geplant.

Erste Daten zur Stabilisierung des Körpergewichts und zur Anpassung der Probanden an das Diätregime liegen bereits vor. Innerhalb des ersten Monats konnte bei allen Probanden die individuell notwendige Kalorienzufuhr zur Konstanzhaltung des Körpergewichts ermittelt werden. Außerdem zeigt sich, dass die Mars500-Crew die Experimente absolut präzise durchführte. Dies lässt erwarten, dass die Studie zuverlässig Erkenntnisse zu Stoffwechsel und Blutdruckverhalten des Menschen liefern wird. Solche neuen Einblicke in die Funktion des menschlichen Körpers sind nur durch die extrem kontrollierten Umgebungsbedingungen möglich, die Mars500 bietet. Das Experiment ist das längste jemals durchgeführte Weltraum-Simulationsexperiment. Wissenschaftler vom DLR und anderen deutschen Forschungseinrichtungen wie der Berliner Charité sowie Universitäten aus Erlangen, München, Mainz, Bonn und Köln sind daran beteiligt.

www.DLR.de/Mars500



Beim RCAS-Demonstrationstag im Prüfczentrum Wegberg-Wildenrath zeigten ein präparierter Regionalzug und das DLR-Zweizeugefahrzeug RailDrive als „Zugersatz“ drei verschiedene Test-szenarien.

Modernste Kommunikationstechnik hilft Zug-Kollisionen vermeiden

Zug-Kollisionen zu vermeiden, ist das Ziel von DLR-Sensor- und Kommunikationsexperten. Dass es erreichbar ist, zeigten sie auf einer Teststrecke nahe Aachen. Wissenschaftler der DLR-Institute für Kommunikation und Navigation, für Verkehrssystemtechnik sowie für Robotik und Mechatronik demonstrierten mit dem Railway Collision Avoidance System, kurz RCAS, ein System, das unabhängig von der Sicherungstechnik entlang der Schiene vor einem drohenden Zusammenstoß warnen kann. Das Zug-Kollisions-Vermeidungs-System sorgt für den Daten-Austausch von Zug zu Zug über Position, Geschwindigkeit, Streckenführung und Lademaß. Errechnet das System, dass ein Zusammenstoß droht, warnt es den Triebfahrzeugführer.

www.DLR.de/RCAS

Roboter für den neuen DLR-Standort in Augsburg

Roboter werden im Zentrum für Leichtbauproduktionstechnologie des DLR in Augsburg die Produktion automatisieren. In Zusammenarbeit mit KUKA Systems werden flexible, miteinander kooperierende Robotersysteme und mechatronische Handhabungssysteme entwickelt.

Ziel ist die wirtschaftliche Fertigung von Flugzeugbauteilen aus kohlefaserverstärktem Kunststoff. Neben der Produktion werden auch neue Lösungen für die produktionsintegrierte zerstörungsfreie Prüfung erarbeitet. Das DLR und Kuka vereinbarten eine strategische Partnerschaft.

www.DLR.de/RM, www.kuka-systems.de

Mit LAMA auf anderen Planeten mobil

Landen bei der geringen Schwerkraft fremder Planeten will geübt sein. Im DLR in Bremen gibt es dafür die Lande- und Mobilitätstestanlage, kurz LAMA. Lander oder Rover fahren dort über Sand, während sie an einem Roboterarm hängen. Dabei steuert ein Computer, mit welcher Eigenlast die Geräte auf dem Boden aufsetzen und wie stark die Bodenhaftung bei der Fortbewegung ist. Die Aufhängung der Testobjekte am Roboterarm, die Software und weitere Komponenten wurden im DLR entwickelt.

Anschaulich gezeigt wird die Arbeit der Wissenschaftler vom Institut für Raumfahrtssysteme auch in einem DLR-webcast.

www.DLR.de/LAMA-WEBCAST



Das Stratosphären-Observatorium für Infrarot-Astronomie SOFIA während seines ersten Testfluges mit vollständig geöffneter Teleskop-Tür am 18. Dezember 2009 über der kalifornischen Mojave-Wüste. In der Öffnung im Rumpf der Boeing 747SP wird das in Deutschland gebaute 2,7-Meter-Teleskop sichtbar. Der Testflug mit geöffneter Tür ermöglichte den Ingenieuren zum ersten Mal, die Luftbewegungen in und um Teleskop und Tür zu untersuchen.

Fliegende Sternwarte SOFIA hob erfolgreich ab

Das deutsch-amerikanische Stratosphären-Observatorium für Infrarot-Astronomie (SOFIA) hat mit seinem „First Light“ einen wichtigen Meilenstein erreicht. Zum ersten Mal hat diese weltweit einzige fliegende Sternwarte, die gemeinsam von der amerikanischen Weltraumbehörde NASA und dem DLR betrieben wird, astronomische Infrarot-Objekte im Flug beobachtet. Die stark modifizierte Boeing 747SP, die mit einem in Deutschland gebauten 2,7-Meter-Spiegelteleskop ausgestattet ist, flog von ihrer Heimatbasis in Kalifornien acht Stunden in einer Höhe von bis zu elf Kilometern. Dabei testete die 18-köpfige Besatzung aus Wissenschaftlern, Ingenieuren und Technikern die Leistungsfähigkeit des Teleskops und machte erste Infrarot-Aufnahmen von Testobjekten am Nachthimmel wie etwa dem Planeten Jupiter bei unterschiedlichen Infrarot-Wellenlängen. Für erdgebundene Teleskope sowie für die gegenwärtig betriebenen Weltraumteleskope sind solche Daten sonst absolut unzugänglich.

SOFIA vereinigt die Effektivität von satellitengestützten Teleskopen mit der vergleichsweise leichten Wartung von erdgebundenen Sternwarten. Bei maximaler Beobachtungshöhe lässt SOFIA mehr als 99 Prozent des Wasserdampfs in der Erdatmosphäre unter sich und kann somit einen Großteil der kosmischen Infrarot-Strahlung empfangen.

www.DLR.de/SOFIA



Pilotanlage für industrielles Trocknen mit solar produziertem Dampf

In Deutschland werden circa 18 Prozent des Endenergiebedarfs für industriell genutzte Wärme verwendet. Mit solar erzeugter Prozesswärme arbeitet seit einigen Wochen auch die Firma Alanod in Ennepetal, nahe Wuppertal. Der Hersteller von hochreflektierenden Aluminiumbändern für die Solarbranche nahm eine Pilotanlage zur Dampferzeugung mittels Parabolrinnenkollektoren in Betrieb. Mit dem Dampf werden die Beschichtungen der Aluminiumbänder getrocknet. An dem Verbundprojekt sind auch DLR-Forscher beteiligt. Sie wollen die unmittelbare Dampferzeugung im Solarfeld in Verbindung mit einem industriellen Abnehmer auf Leistungsfähigkeit, Zuverlässigkeit und Langlebigkeit der Kollektoren untersuchen.

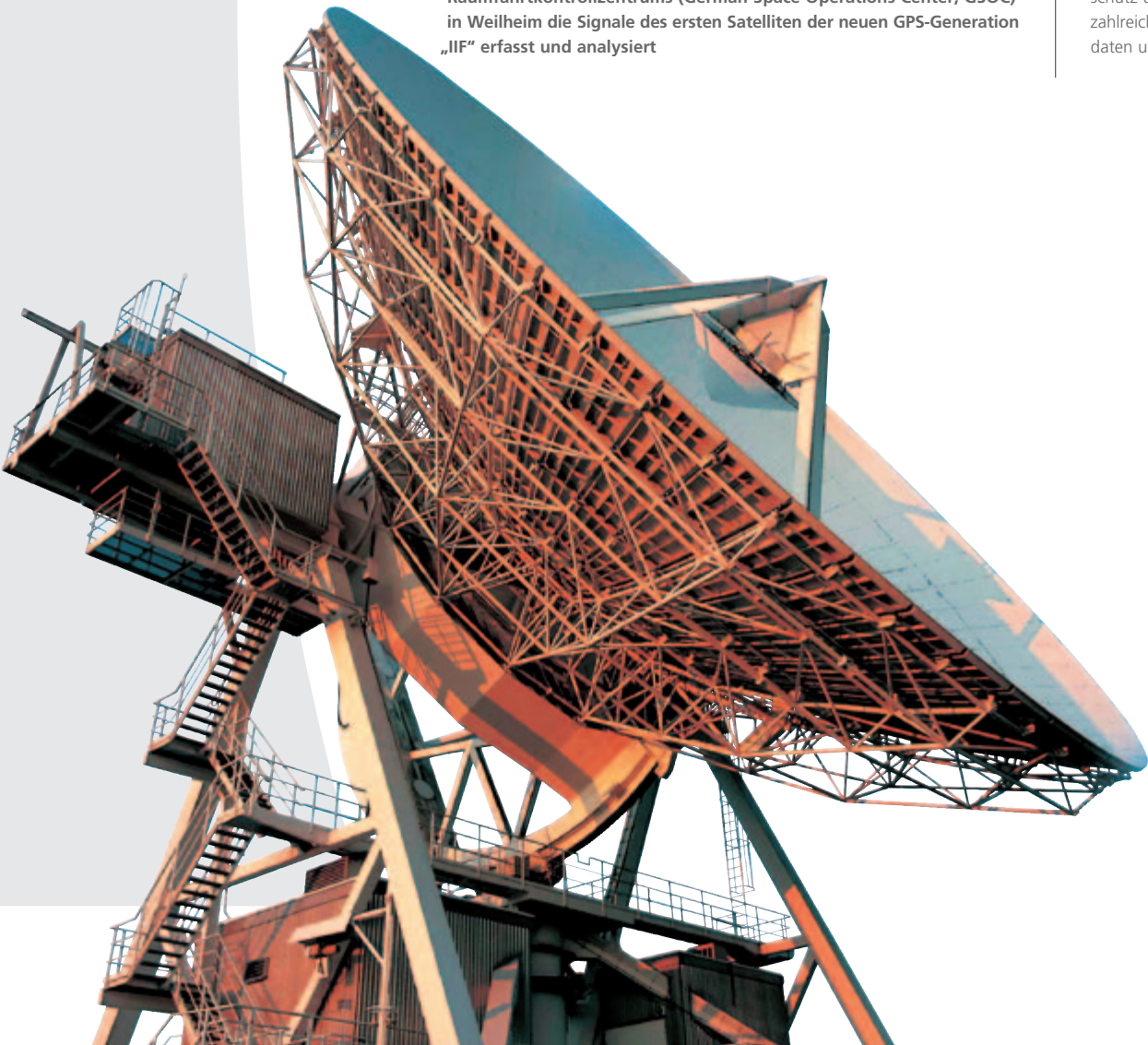
Bei einem Druck von vier bar wird das Wasser in Parabolrinnenkollektoren auf 143 Grad Celsius erhitzt. Mit der Wärme trocknet die Firma Alanod Aluminiumbänder, die sie für die Solaranlagen herstellt.

Navigationssignale einer neuen GPS-Generation

DLR-Wissenschaftler haben mit der 30-Meter-Antenne des Deutschen Raumfahrtkontrollzentrums (German Space Operations Center, GSOC) in Weilheim die Signale des ersten Satelliten der neuen GPS-Generation „IIIF“ erfasst und analysiert. Der Satellit ist seit dem 27. Mai 2010 im All und sendet erstmals ein Signal im Frequenzbereich L5, dem dritten zivilen Frequenzbereich. Mit ihm soll der Navigationsdienst noch zuverlässiger und genauer werden. Das DLR besitzt weltweit einzigartige Fähigkeiten, solche Signale zu untersuchen – ein Know-how, mit dem in Zukunft auch Feinjustierungen und Korrekturen an Satelliten möglich sind.

Das Signal liegt wie das Standardsignal L1 in einem für die Luftfahrt geschützten Frequenzbereich. Beide Signale zusammen ermöglichen es, die störenden Ausbreitungsfehler in der Ionosphäre, das sogenannte Rauschen, herauszurechnen. Funksignale werden beim Durchlaufen dieser circa 80 Kilometer hohen Atmosphärenschicht oft verzögert, wodurch Ortsfehler bei der Positionsbestimmung entstehen. Durch Signale in zwei unterschiedlichen Frequenzbereichen lassen sich diese Fehler korrigieren und die Positionsbestimmung wird präziser sowie zuverlässiger. Von der neuen GPS-Satelliten-Generation werden in den nächsten zwei bis drei Jahren zwölf Satelliten in den Orbit gebracht.

DLR-Wissenschaftler haben mit der 30-Meter-Antenne des Deutschen Raumfahrtkontrollzentrums (German Space Operations Center, GSOC) in Weilheim die Signale des ersten Satelliten der neuen GPS-Generation „IIIF“ erfasst und analysiert



FACETTENREICHE WISSENSCHAFT
www.scienceblogs.de/alles-was-fliegt
Ob große Wissenschaft für kleine Leute, interessante Forscher im Profil, tolle Bilder oder Lesetipps – mit seiner Mannigfaltigkeit macht dieser Wissenschaftsblog richtig Laune.

START-VIDEO
<http://tinyurl.com/launchvideo>
Weltraum-Shuttle am Flaschenzug, Menschen wuseln drumherum wie Ameisen. Raumfahrt-Enthusiasten sollten sich dieses Zeitraffer-Video der Vorbereitung zum STS-131-Start nicht entgehen lassen.

LEGO-SHUTTLE
<http://tinyurl.com/shuttle-lego>
Vom Kennedy Space Center in Florida ins Kinderzimmer – das Spaceshuttle gibt es auch bescheidener, als Lego-Modell, ultimatives Spielzeug für junge und ältere Raumfahrt-Fans. Ansehen und nachbauen!

MITMACH-ENZYKLOPÄDIE
<http://tinyurl.com/wiki-raumfahrt>
In diesem Wikipedia-Portal gibt es zahlreiche Artikel mit Raumfahrt-Bezug. Wer mag, kann auch selbst Artikel hinzufügen oder an bestehenden Artikeln mitarbeiten.

KLIMASCHUTZ
www.co2-handel.de
Hier geht es um tagesaktuelle Informationen zu den Themen Emissionshandel, Klimaschutz und Umweltpolitik. Zusätzlich werden zahlreiche Berichte und Leitfäden, Marktdaten und ein Glossar angeboten.

Ganz genau – orten ohne Fehler

Das Wissen, wo sich ein Container, Päckchen oder Zug genau befindet, kann nicht nur hilfreich sein, sondern auch entscheidend für die Sicherheit. Mit dem Safety-of-life-Dienst bietet das zukünftige Europäische Satelliten-navigationsystem Galileo eine verlässliche Information über die Position, aber auch über mögliche Fehler. Auf dieser Basis können auch sicherheitsrelevante Anwendungen für den Verkehr entwickelt werden. Um diese in jedem Fall zuverlässig und sicher einsetzen zu können, gilt es noch einige Probleme zu lösen und als letzte Hürde eine Zertifizierung zu bestehen. Im Projekt GAUSS arbeitet das DLR mit Partnern am Forschungsflughafen Braunschweig an einer einheitlichen Zertifizierung für verkehrliche Anwendungen von Galileo.

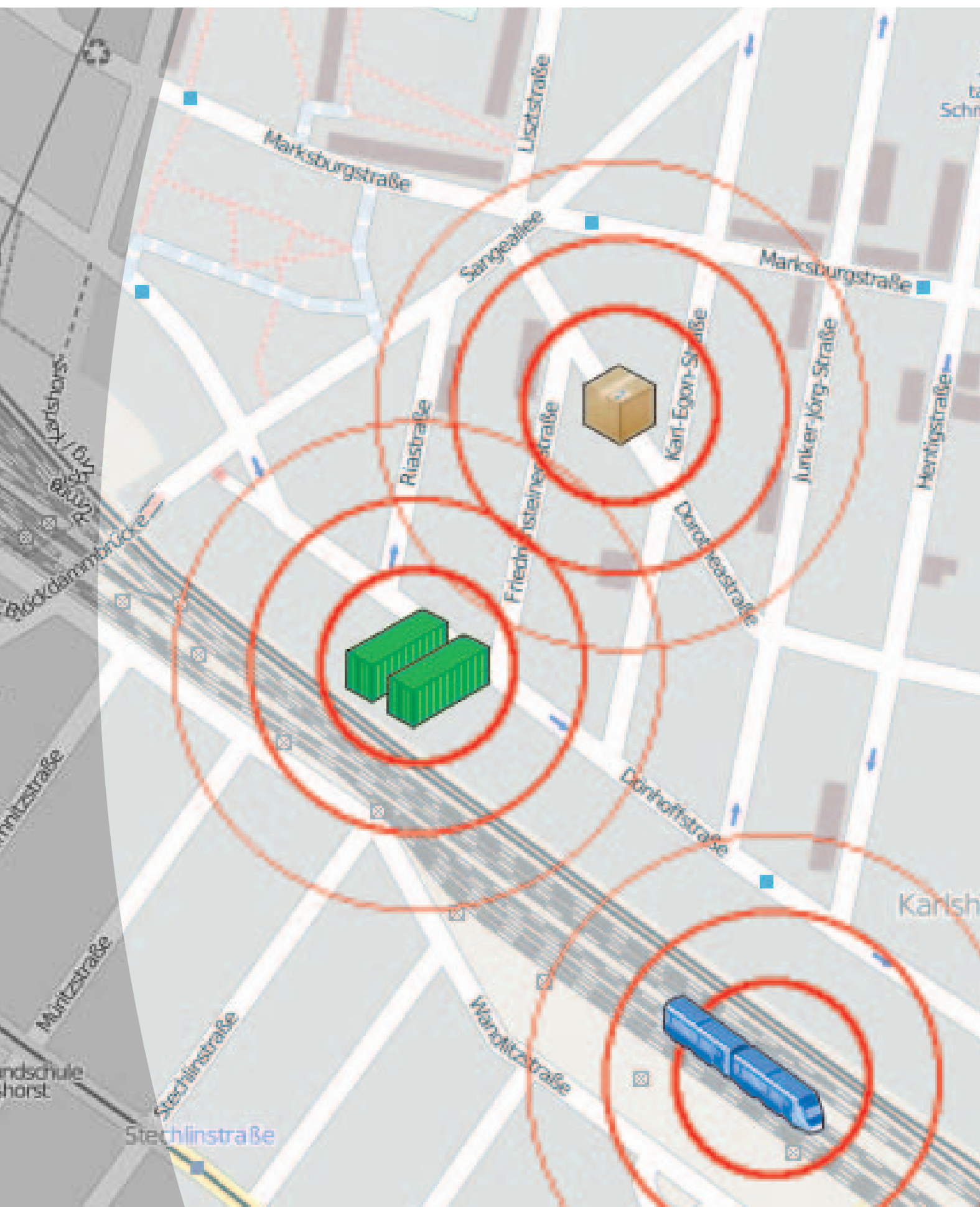
DLR-Wissenschaftler setzen Standards für Galileo

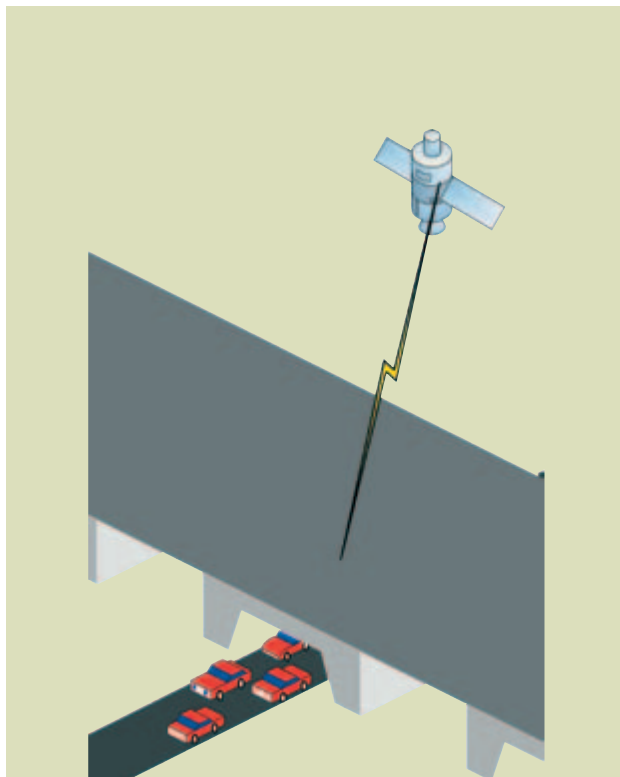
Von Matthias Grimm, Dr. Michael Meyer zu Hörste und Dr. Klaus Jaschke

Was wird mit Galileo anders?

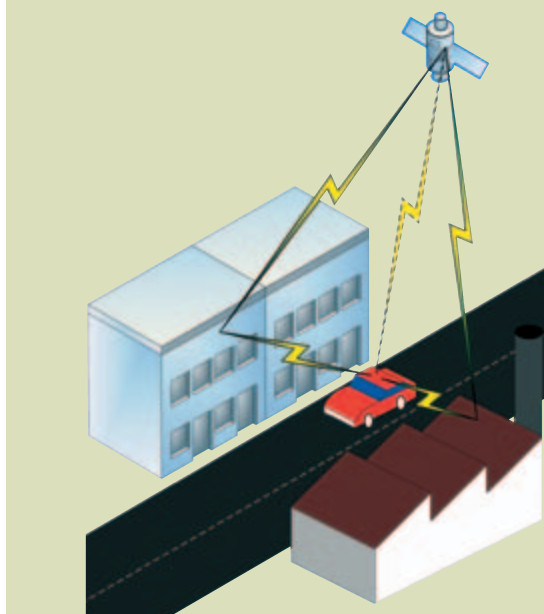
Satellitenavigation hat als Technologie schon lange Einzug in unseren Alltag gehalten. Navigationsgeräte zeigen Autofahrern, Radfahrern und Wanderern den Weg und die Handys der neuesten Generation kennen ihre eigene Position. Die Bewegungen von Flugzeugen und Flottenfahrzeugen wie Mietwagen, LKWs oder Taxis werden mit Hilfe von GNSS, den Global Navigation Satellite Systems, verfolgt. Und auch die Positionen von Päckchen, Containern und Güterwagen können im Internet verfolgt werden. GNSS unterstützen unseren Alltag in vielen Bereichen –, doch haben diese Systeme heute noch einen entscheidenden Nachteil: Meist ist die Information zwar richtig, aber sicher sein kann man sich dessen nicht.

Wie kommt es zu den Ungenauigkeiten? Mehrere GNSS-Satelliten senden ein Signal aus. Ein Empfänger nimmt diese Signale auf und bestimmt aus der bekannten Position des Satelliten und der Laufzeit des Signals die Position des Empfängers – sofern genügend verschiedene Satellitensignale empfangen werden konnten. Prinzipbedingt weist diese Position eine gewisse – in der Regel akzeptable – Ungenauigkeit auf. Es kann aber auch gravierende Störungen des Verfahrens geben: Die Signale können auf dem Weg zum Empfänger reflektiert oder komplett abgeschirmt werden. Dadurch ist an manchen Positionen keine





Abschattung kann die Genauigkeit des Ortungssignals vermindern, wenn durch Gebäude, Tunnel oder andere Hindernisse die Sichtbarkeit zum Satelliten verschwindet



Mehrwegeausbreitung kann die Genauigkeit der Ortung verfälschen, wenn das Satellitensignal auf unterschiedlichen Wegen zum Empfänger gelangt

oder nur eine stark verfälschte Ortungsinformation verfügbar. Auch die Funktionsweise der Satelliten selbst ist ein weiterer Faktor, der das Ergebnis massiv verändern oder verfälschen kann. Wenn ein Satellit durch einen Fehler (beispielsweise durch eine ungenau gehende Uhr) beeinträchtigt wird oder auch gezielt falsche Daten sendet, wird ebenfalls eine falsche oder sehr ungenaue Position berechnet. Diese Fehler lassen sich beim US-amerikanischen Global Positioning System (GPS) und seinem russischen Pendant GLONASS nicht feststellen.

Bei dem neuen Europäischen Satellitennavigationssystem Galileo, das anders als die bestehenden für zivile Zwecke konzipiert wurde, gibt es eine Möglichkeit, falsche Daten zumindest teilweise zu erkennen: Neben einem offenen Dienst, wie es ihn auch für GPS und GLONASS gibt, wird auch ein kostenpflichtiger „Safety-of-life-Dienst“ angeboten. Dieser Dienst garantiert, dass einem Benutzer zumindest eine Warnung zukommt, sobald die Genauigkeit nicht mehr bestimmten Werten entspricht.

Was sind sicherheitsrelevante Applikationen und warum benötigen sie eine Zertifizierung?

Für einen Autofahrer mag es ärgerlich sein, wenn sein Navigationssystem plötzlich kein genaues Signal mehr bekommt. Vielleicht wird er dadurch verwirrt oder biegt falsch ab –, doch für die Sicherheit ist er jederzeit selbst verantwortlich. Für automatische Systeme, die Hochgeschwindigkeitszüge oder Flugzeuge überwachen, kann eine temporäre oder dauerhafte Störung sowie Ungenauigkeit dagegen extrem gefährlich sein – und ist daher nicht akzeptabel.

Solche Systeme müssen heute bereits genau definierten Sicherheitsanforderungen genügen, was sie in einem aufwändigen Prozess der Nachweisführung der Sicherheit und der Zulassung beweisen müssen. Der Safety-of-life-Dienst ist ein erster Schritt hin zu einem System, das die Verantwortung für Sicherheit hinsichtlich Ortung übernehmen kann. Auch diese Systeme durchlaufen aufwändige Tests, bevor sie in Betrieb genommen werden dürfen. Die Sicherheitsanforderungen verlangen, dass ein System über mehrere Rechner für dieselbe Aufgabe verfügen muss – dies wirkt technischen Ausfällen entgegen. Zusätzlich muss das System mögliche Fehler zuverlässig erkennen. So wird erreicht, dass die vorliegenden Informationen auch immer verlässlich sind. Und genau da liegt das Problem in der Anwendung von Satellitennavigation: Eine Ortsinformation kann unerkant falsch sein, weil beispielsweise das Signal so reflektiert wurde, dass eine Mehrwegeausbreitung zu Stande kam. Doch auch dieses Problem ist lösbar: Ausgefeilte Algorithmen und Selbstüberwachungsprozeduren helfen, Effekte wie Mehrwegeausbreitungen sowie auch Abweichungen und Störungen im Empfänger zu erkennen. Der Safety-of-Life-Dienst hilft zusätzlich, Störungen im Bereich der Satelliten zu erkennen. Das Verfahren hierzu beruht auf einer Referenz-Empfangsstation auf der Erde, die ihre Position genau kennt und so im Umkehrschluss herausfinden kann, ob einer der Satelliten ungenaue oder falsche Informationen sendet.

Ideen und Lösungsansätze sind also vorhanden – nun müssen sie noch den Zulassungs- und Nachweisverfahren standhalten, um für sicherheitsrelevante Anwendungen auch zum Einsatz zu kommen. Hier gilt es, neue Herausforderungen zu meistern und einige Verfahren, die zum anerkannten Stand der Technik gehören, anzupassen: So ist eine regelmäßige Vor-Ort-Inspektion der Satelliten beispielsweise realistisch gesehen nicht durchführbar.

Was ist das Projekt GAUSS und was wird das Ergebnis sein?

Am Forschungsflughafen Braunschweig hat sich eine umfangreiche Gemeinde von Fachleuten zur Klärung von Fragen rund um Zulassungs- und Nachweisverfahren für Galileo zusammengefunden. Dazu gehören die Industrieunternehmen TÜV Nord, NAVCert, Aerodata, etamax, OECON, die akademischen Partner Technische Universität Braunschweig und DLR sowie der Interessensverband und Projektkoordinator ITS Niedersachsen. Sie bilden gemeinsam ein Kompetenzzentrum für das Wissen über Satellitennavigation und deren Zertifizierung, das bereits in ersten nationalen und europäischen Projekten seine Leistungsfähigkeit bewiesen hat.

Im Projekt GAUSS entwickeln sie eine weitgehend einheitliche Zertifizierungsprozedur für Anwendungen, Komponenten und Dienste von Galileo, die für Luft-, Straßen- und Eisenbahnverkehr eingesetzt werden sollen. In einem ersten Schritt haben die Partner alle rechtlich relevanten, zu beachtenden Normen, Standards, Gesetze und Verordnungen identifiziert, untersucht und entsprechend ihrer Relevanz für die Zertifizierung von Galileo bewertet. Als Ergebnis entstand eine Liste mit etwa 150 potenziell zu beachtenden Schriften. Darüber hinaus wurden Laborinfrastrukturen beschrieben und aufgebaut, um hiermit eine spätere Zertifizierung unterstützen und durchführen zu können. Um schon vor Einführung von Galileo erste Erfahrungen mit dem Zertifizierungsprozess sammeln zu können, unterziehen die Wissenschaftler projektbegleitend außerdem vier Galileo-Anwendungen ganz oder ansatzweise einer beispielhaften Zertifizierung. So gewinnen die DLR-Forscher und ihre Partner schon frühzeitig Erkenntnisse darüber, an welchen Stellen noch Schwierigkeiten im Zulassungsprozess vorhanden sind und die Anwendungen einer Weiterentwicklung bedürfen.

Zu den beispielhaft zertifizierten Anwendungen gehört das Galileo Test Environment (GATE) in Berchtesgaden ebenso wie das im DLR entwickelte Railway Collision Avoidance System (RCAS). RCAS verhindert Zusammenstöße zwischen Zügen auf Basis von Positionsinformationen eines Satellitennavigationssystems und ergänzenden Ortungssystemen, die per Zug-zu-Zug-Kommunikation aller Züge im Umkreis von fünf Kilometern ausgetauscht werden. Das System soll die Sicherheit erhöhen – entsprechend wichtig ist eine zuverlässige gleisgenaue Ortung, um Kollisionen und auch Fehlalarme vermeiden zu können.

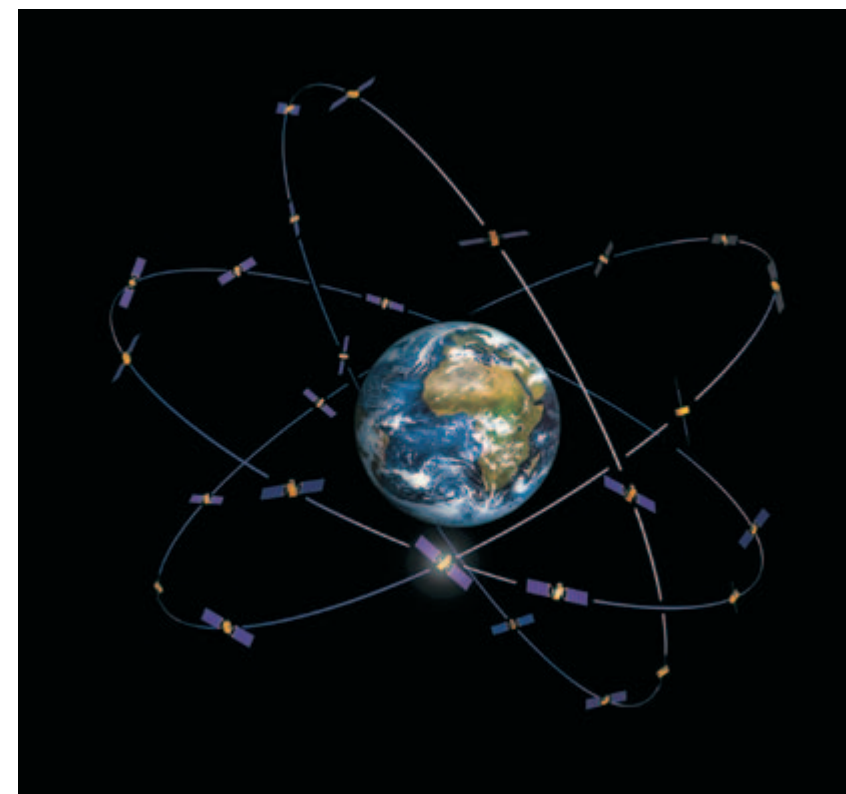
In einem Produktkatalog hat das GAUSS-Konsortium zusammengefasst und beschrieben, mit welchen Arbeiten es eine Zertifizierung begleiten kann. Er ist im Internet auf dem Portal des GAUSS-Konsortiums veröffentlicht. Zu den angebotenen Leistungen gehört dabei auch die Durchführung von Workshops, Weiterbildungsseminaren und Konferenzen. Damit bietet GAUSS eine breite Palette an Dienstleistungen für eine erfolgreiche Einführung von Galileo.

Autoren:

Matthias Grimm ist als wissenschaftlicher Mitarbeiter und Dr. Michael Meyer zu Hörste als Chief Engineer in der Abteilung Bahnsysteme des Instituts für Verkehrssystemtechnik tätig, Dr. Klaus Jaschke leitet die Gruppe Simulatoren in der Abteilung Automotive. Gemeinsam arbeiten sie an der Zertifizierung von Galileo-Anwendungen.

Weitere Informationen

www.gauss-portal.de
www.gsa.europa.eu



Glossar

- GNSS** Global Navigation Satellite Systems. Oberbegriff für GPS, GLONASS, Galileo und ähnliche.
- GPS** Global Positioning System. Von den USA zu militärischen Zwecken betrieben, aber auch für zivile Zwecke nutzbar.
- GLONASS** Globalnaja Nawigazionnaja Sputnikowaja Sistema. Von Russland zu militärischen Zwecken betrieben, aber auch für zivile Zwecke nutzbar.
- Galileo** Ziviles europäisches Satellitennavigationssystem. Soll 2014 mit ersten Diensten in Betrieb gehen.
- GAUSS** Der Name des bekannten deutschen Mathematikers Carl Friedrich Gauß steht für das Galileo Zentrum für sicherheitskritische Anwendungen, Zertifizierungen und Dienstleistungen am Forschungsflughafen in Braunschweig.

Sicher über den Bahnübergang

Das Andreaskreuz, Schranken, Halbschranken, Lichtzeichen oder auch akustische Signale machen Bahnübergänge sicher. In der Regel. Dennoch kommt es – für Straßenverhältnisse recht selten – zu Kollisionen zwischen Straßen- und Schienenverkehr. In der Bahn-Statistik machen sie aber etwa ein Drittel aller Unfälle aus, in Deutschland sind das circa 250 pro Jahr. DLR-Forscher beteiligen sich an der Suche nach innovativen Sicherungsmöglichkeiten am Bahnübergang.

Kamera-Technologie und eisenbahnbetriebliche Konzepte für effizienten Verkehr

Von Markus Pelz und Dr.-Ing. Anko Börner

Ein Ansatz der DLR-Wissenschaftler ist die Automatisierung von sogenannten Anrufschraken. Bislang öffnet ein im Stellwerk befindlicher Bediener die Anrufschraken, nachdem ein Autofahrer, Fußgänger oder Radfahrer per Gegensprechanlage signalisiert hat, dass er die Schienen überqueren will. Der Bediener kann den Bahnübergang jedoch nicht beobachten. Bei fortschreitender Automatisierung des Bahnbetriebs können die Bediener die Freischaltung an den Anrufschraken nicht mehr übernehmen – die Anrufschrake hätte ausgedient. Das DLR untersucht kostengünstige Alternativen.

Wissenschaftler der DLR-Institute für Verkehrssystemtechnik und für Robotik und Mechatronik arbeiten an einem Kamera-System und der eisenbahnbetrieblichen Einbindung dieser Technologie am Bahnübergang. Eine Stereo-Kamera erzeugt in Echtzeit eine Karte, die für jeden beobachteten Objektpunkt dreidimensionale Koordinaten enthält. Eine Analyse dieser räumlichen „Punktwolke“ ermöglicht eine schnelle und zuverlässige Interpretation des aktuellen Geschehens am Bahnübergang. Objekte im Gefahrenraum können so detektiert und klassifiziert werden. Da das Stereo-System nur den Nahbereich im Visier hat, ergeben sich keine witterungsbedingten Einschränkungen. Nachts stellt eine Beleuchtung den Betrieb sicher. In einem ersten Schritt soll diese Kamera-Technologie die Absicht eines Straßenverkehrsteilnehmers oder Fußgängers zum Überqueren der Schienen erkennen und an die Sicherungstechnik weiterleiten. In Schritt zwei muss das System registrieren, dass der Straßenverkehrsteilnehmer den Bahnübergang überquert hat. Dazu muss es den Gefahrenraum – also den Bereich zwischen den Schranken – scannen und als frei von Hindernissen melden.

Der Einsatz dieses Kamera-Systems kann neben der Automatisierung von Anrufschraken bei vielen Anlagen zur deutlichen Senkung der Lebenszykluskosten des Anlagensystems beitragen und ein Argument für die Erneuerung alter Bahnübergangssicherungsanlagen sein. Des Weiteren können diese Kameras Rückstaus erkennen, bei denen Autos auf dem Bahnübergang zum Stehen kommen und diesen nicht rechtzeitig geräumt haben, wenn sich ein Zug nähert. Auch eine Live-Übertragung der Geschehnisse am Bahnübergang in eine Zentrale wird möglich. Damit kann ein Bediener in der Zentrale bei Störungen der automatischen Auswertung des Stereo-Kamera-Systems, bei extremen Witterungsbedingungen oder auch bei einem Defekt der Bahnübergangstechnik gezielt eingreifen und im Notfall Rettungskräfte koordinieren.

Ein anderer Ansatz wird als Teilanwendung in der zweiten Phase des DLR-Projekts RCAS (Railway Collision Avoidance System) verfolgt. RCAS soll mit Hilfe genauer Ortungsinformationen und sogenannter Zug-zu-Zug-Kommunikation Kollisionen von Zügen verhindern. Ein Empfänger am Bahnübergang erhält per Funk von einem sich nähernden Zug Informationen über dessen Position und Geschwindigkeit, sodass sich die Schranken rechtzeitig schließen können. Diese Art der Aktivierung hat einen weiteren Vorteil: Die Schließzeiten der Schranken können passend zur Zuggeschwindigkeit optimiert werden.

Autoren:

Dipl.-Ing. Markus Pelz leitet im Braunschweiger DLR-Institut für Verkehrssystemtechnik die Gruppe Safety & Rail Human Factors. Sein Hauptforschungsgebiet ist die Bahnübergangssicherung. Dr.-Ing. Anko Börner leitet die Abteilung Informationsverarbeitung optischer Systeme am Institut für Robotik und Mechatronik. Ein Forschungsschwerpunkt seiner Abteilung ist die Interpretation von Bilddaten in Echtzeit.

Weitere Informationen:

www.DLR.de/ts
www.DLR.de/os
www.collision-avoidance.org

Technisch gesicherter Bahnübergang

Stärke durch Kombination

Das Flugzeug ist ein sehr sicheres Verkehrsmittel. Auf eine Million Flüge kommt deutlich weniger als ein abgestürztes Flugzeug – Tendenz weiter fallend. Fast dreiviertel dieser Unfälle gehen auf menschliches Versagen zurück. Bei jedem zehnten Absturz ist ein technischer Defekt der Auslöser. Das bedeutet: Nur bei jedem 12-millionsten Flug ist technisches Versagen die Absturzursache. Um es noch deutlicher zu machen: 33.000 Jahre lang könnte man theoretisch jeden Tag einmal fliegen, bevor es statistisch gesehen zu einem technisch bedingten Absturz käme. Diese Seltenheit unglücklicher Ereignisse ist vor allem angesichts des komplexen Zusammenspiels verschiedenster Technologien in einem Verkehrsflugzeug bemerkenswert. Die für Flugzeuge und deren Antriebe eingesetzten Materialien spielen eine Schlüsselrolle, wenn es um die technische Sicherheit von Flugzeugen geht. Die Werkstoff-Forscher des DLR tragen dem Rechnung. Sie suchen nach Materialverbindungen, die höchsten Belastungen standhalten.

Neue Werkstoffe für eine sichere Luftfahrt

Von Dr.-Ing. Joachim Hausmann

Das Triebwerk – Schlüsselkomponente sicheren Fliegens

Die Schaufeln moderner Gasturbinen weisen eine immer ausgefeiltere Konstruktion auf. Höchste Leistung ist bei gleichzeitig geringen Lärm- und Schadstoffemissionen gefordert und die Sicherheit darf dabei keinesfalls auf der Strecke bleiben. Um solch komplexe Geometrien bei mechanisch und thermisch hohen Belastungen umsetzen zu können, sind Werkstoffe mit höchsten Festigkeiten erforderlich. Daher wurden bereits in den Neunzigerjahren des letzten Jahrhunderts im Institut für Werkstoff-Forschung des DLR faserverstärkte Titanmatrix-Verbundwerkstoffe entwickelt. Die doppelte Festigkeit durch die Faserverstärkung macht die Schaufeln stark genug, um hohen Drehzahlen und Gaskräften widerstehen zu können. Dass Bauteile derart hohe Belastungen aufnehmen können, reicht jedoch allein nicht aus. Bei Triebwerksschaufeln stellt sich dann zum Beispiel die Frage, wie diese an der Rotorscheibe zu befestigen sind. Die gewaltig hohen Fliehkräfte müssen schließlich sicher übertragen werden können. Daher geht das DLR solche Echtwicklungen nicht nur von der Werkstoffseite her, sondern in Verbundprojekten zwischen den DLR-Instituten für Antriebstechnik, für Aeroelastik, für Bauweisen- und Konstruktionsforschung und für Werkstoff-Forschung an.

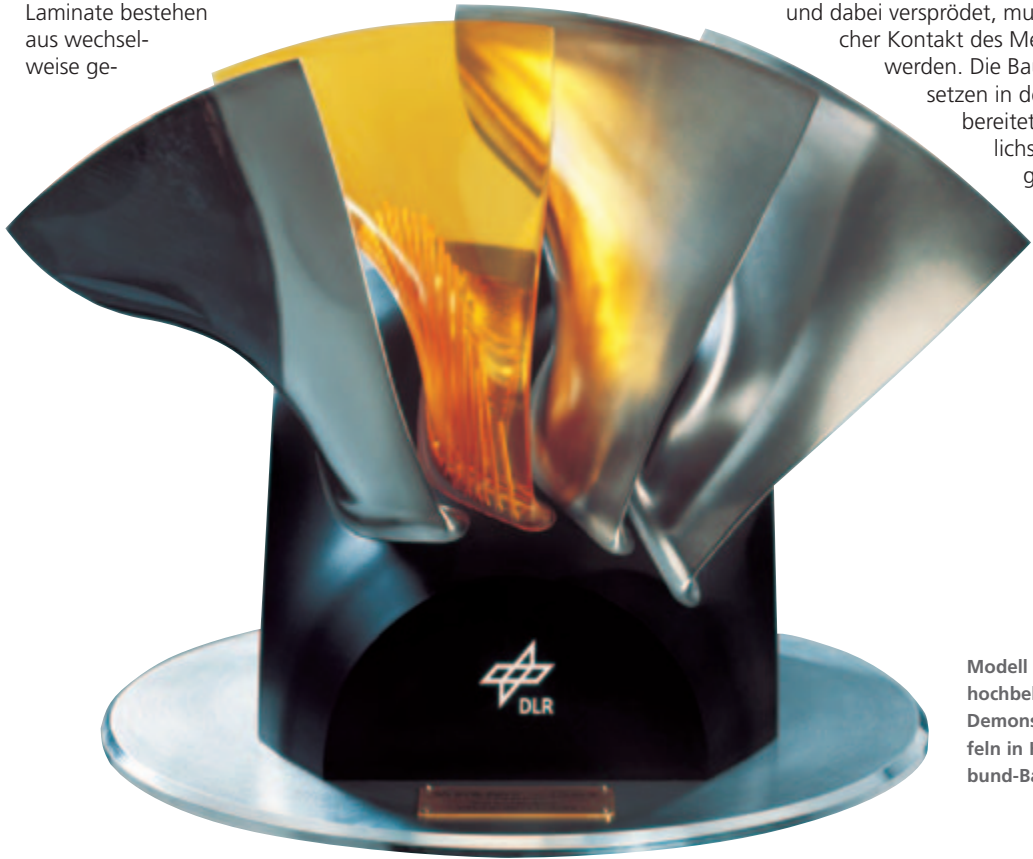
Vorkonfektionierung von Probenrohlingen zur Untersuchung der Eigenschaften gelöteter Titanverbindungen vor dem Einsetzen in den Hochvakuumofen

Verbundwerkstoffe – reizvoll, aber teuer

Enorme Leistungsfähigkeit haben Titanmatrix-Verbundwerkstoffe bereits beim Einsatz in Formel-1-Motoren bewiesen. Allerdings führte eine Änderung der FIA-Regularien (Federation Internationale de l'Automobile) schnell wieder zu einer Verbanung der hochfesten Werkstoffe aus den Motoren. Der Bedarf nach Werkstoffen mit der Leistungsfähigkeit der Titanmatrix-Verbundwerkstoffe besteht auch in Bereichen außerhalb des Rennsports. Doch das bisher praktizierte Herstellverfahren ist bei Weitem zu aufwändig und zu teuer für Serienanwendungen. Daher lenken DLR-Forscher ihre aktuellen Arbeiten auf die Entwicklung effektiverer Fertigungsverfahren. Im Rahmen einer Helmholtz-Hochschul-Nachwuchsgruppe entwickeln sie in Zusammenarbeit mit der RWTH Aachen ein elektrolytisches Verfahren, um die Verstärkungsfasern mit der Titanmatrix zu versehen. Ergänzend dazu werden Multi-Metallmatrix-Verbundwerkstoffe untersucht, mit denen Komponenten in sehr wenigen Prozessschritten und mit deutlich reduziertem Aufwand in ihrer endgültigen Geometrie herstellbar sind. Hierzu werden titanbeschichtete Keramikfasern mit einer weiteren Metalllegierung infiltriert. Die einzelnen Technologien können zu einer Gesamtprozesskette kombiniert werden, die in der Summe erhebliche wirtschaftliche und technische Vorteile gegenüber dem momentanen Stand der Technik bietet.

Kohlenstofffaserverstärkter Kunststoff – leicht, doch nicht zäh genug

Im Gegensatz zu den Verbundwerkstoffen mit metallischer Matrix haben sich die Faserkunststoffverbunde bereits in weiten Bereichen etabliert. In der Luftfahrt ersetzt kohlenstofffaserverstärkter Kunststoff (CFK) mehr und mehr Aluminium. CFK bietet für den Leichtbau ein enormes Potenzial, ist jedoch im Versagensverhalten weit weniger gutmütig als die meisten Metalle. Dies äußert sich in plötzlichem Versagen bei Beanspruchung durch Fremdkörpereinschläge und geringen Restfestigkeiten vorgeschädigter Bauteile. Um dieses unerwünschte Verhalten zu ändern, bietet sich eine Kombination von CFK mit zähen Metallen an. Diese sogenannten Faser-Metall-Laminats bestehen aus wechselweise ge-



Modell eines Rotorsegments eines hochbelasteten Verdichters zur Demonstration verschiedener Schaufeln in Hybrid- und Metallmatrixverbund-Bauweise

schichteten Metallfolien und CFK-Lagen. Da die äußersten Schichten Metalllagen sind, ist der faserverstärkte Kunststoff sicher gegen Umwelteinflüsse wie Erosion (Abrieb durch Staub), UV-Strahlung und Kratzer geschützt.

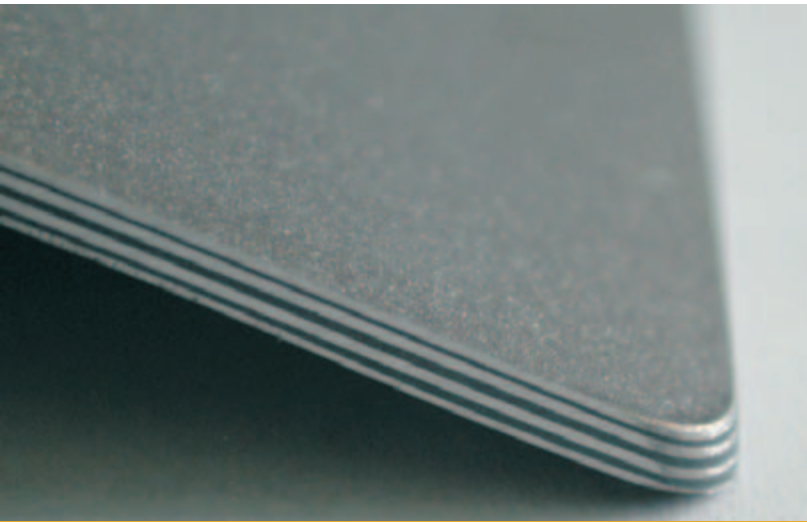
Materialkombinationen – verheißungsvoll, nicht nur für die Luftfahrt

Werden Titanlegierungen für den Metallanteil verwendet, bietet die Materialkombination gleichzeitig eine hervorragende Stabilität gegenüber Korrosion. Aber auch hochfeste Stähle werden für Faser-Metall-Laminats untersucht. Sie bieten erhebliche Kostenvorteile. Damit bestehen für dieses vielseitig einsetzbare Werkstoffsystem zahlreiche Anwendungsmöglichkeiten auch außerhalb der Luftfahrt. Die guten Dämpfungseigenschaften können zum Beispiel Haushaltsgeräte und Straßenfahrzeuge leiser, leichter und sicherer machen. In der Luftfahrt bieten sich überall dort Einsatzmöglichkeiten, wo hochfeste Bauteile benötigt werden, die Einschlägen von Fremdkörpern ausgesetzt sein können. Dies sind vor allem die Vorderkanten von Flügeln, Leitwerken und Triebwerksgehäusen.

Am Beispiel der Faser-Metall-Laminats zeigt sich, dass durch intelligente Kombination die jeweiligen Vorteile verschiedener Werkstoffklassen vereint werden können. Jedoch besteht die Herausforderung dann darin, die unterschiedlichen Werkstoffe fest und beständig zu verbinden. Metalle und Kunststoffe können auf verschiedene Weise verklebt werden. Unterschiedliche Metalle hingegen lassen sich auch verlöten. Bei hochbelastbaren Werkstoffen hat das Löten allerdings nichts mehr mit dem zu tun, was man von der Verbindungstechnik bei Heizungsrohren oder dem Herstellen elektronischer Schaltungen kennt. Vielmehr handelt es sich um einen Prozess, der bei Temperaturen zwischen 800 und 900 Grad Celsius im Hochvakuum stattfindet.

Vakuum-Löten – Hightech-Variante einer traditionellen Füge-technik

Da vor allem das in der Luftfahrt häufig verwendete Titan bei diesen Temperaturen sehr schnell mit Sauerstoff reagiert und dabei versprödet, muss bei der Verarbeitung jeglicher Kontakt des Metalls mit Luft vermieden werden. Die Bauteile werden vor dem Einsetzen in den Vakuumofen speziell vorbereitet. Dazu wird nach gründlichster Reinigung ein passend geschnittenes Stück Folie aus einer Silber-Kupfer-Legierung zwischen die zu



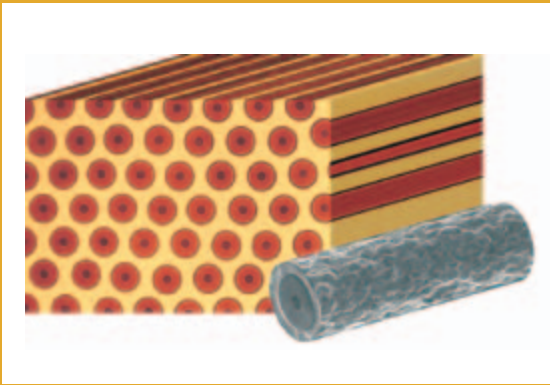
Aufbau eines Faser-Metall-Laminats

verbindenden Teile gelegt. Die Einzelteile müssen exakt zueinander positioniert und geführt werden. Dieser vorbereitete Aufbau wird in die Vakuumkammer des Ofens eingebaut und bis auf die Arbeitstemperatur des Lotes aufgeheizt. Dabei schmilzt das beim Löten hinzugefügte Material (Lotmaterial) nicht nur, sondern es spielen sich komplexe Reaktions- und Diffusionsprozesse zwischen den beteiligten Werkstoffen ab. Dadurch entstehen neue Verbindungen, die höchsten Lasten und Temperaturen standhalten können.

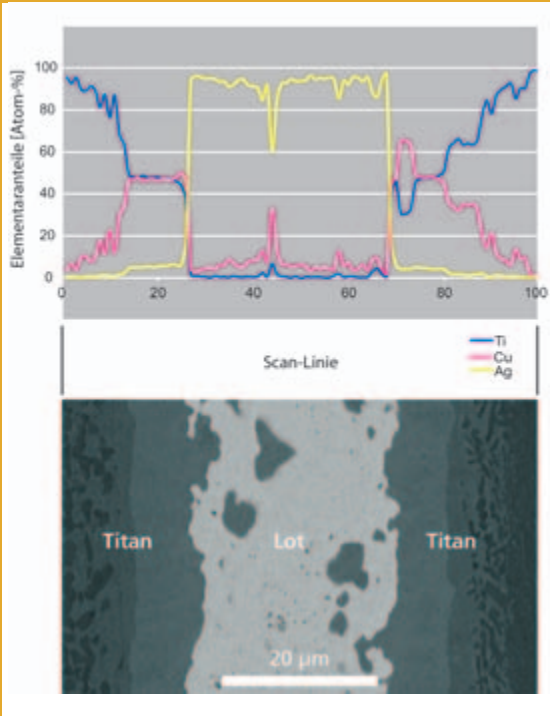
Mit Hilfe der Technologie des hochfesten Verlötens von Titanlegierungen können auch völlig neue Bauweisen realisiert werden. Daher wird in Zusammenarbeit zwischen verschiedenen Instituten des DLR und der Triebwerksindustrie derzeit ein Verdichter-Rotor entwickelt, der durch eine Aufteilung in mehrere Segmente leichter herstellbar ist. Dabei können auch ohne größeren Mehraufwand zum Beispiel Hohlräume oder auch Elemente aus faserverstärktem Titan integriert werden, die die Kräfte von den Schaufeln bis in die Scheiben weiterleiten. Durch diese Bauweise kann ein nach außen hin integrales Bauteil erzeugt werden, das innerlich aus verschiedenen Segmenten mit unterschiedlichen Aufgaben besteht.

Keine leistungsfähigeren Triebwerke ohne neue Werkstoffe

Den künftig immer höheren Anforderungen an Leistungsfähigkeit sowie die Reduktion von Lärm und Schadstoffausstoß kann nur durch ein gezieltes Nutzen jeweils unterschiedlicher Materialeigenschaften entsprochen werden. Aus unterschiedlichen Belastungen, die auf eine Komponente wirken können, resultiert daher künftig verstärkt der Einsatz verschiedener Werkstoffe in einer Komponente. Um auch weiterhin die hohen Sicherheitsstandards der Luftfahrt erfüllen und sogar noch weiter verbessern zu können, sind umfangreiche Untersuchungen der neu entwickelten Werkstoffe erforderlich. Die Anforderungen an die Materialien und Prüfungen formuliert das DLR in Gemeinschaftsprojekten mit der Luftfahrtindustrie und anderen Instituten.



Aus licht- und elektronenmikroskopischen Aufnahmen zusammengesetzte 3-D-Bilder der Mesostruktur, also der feinen, aber mit dem Auge noch sichtbaren Struktur, einer faserverstärkten Titanlegierung und einer elektrolytisch titanbeschichteten Keramikfaser



Querschnitt durch eine Lötnaht mit Analyseergebnis der entstandenen Reaktionsprodukte und Diffusionsschichten

Autor:
Dr.-Ing. Joachim Hausmann leitet am Institut für Werkstoff-Forschung die Gruppe Hybride Werkstoffsysteme und Intermetallics sowie eine Helmholtz-Hochschulnachwuchsgruppe in Zusammenarbeit mit der RWTH Aachen und zahlreiche weitere Projekte zur Werkstoffentwicklung.

Weitere Informationen:
www.DLR.de/wf

Ausgezeichnete Bauweise

Alljährlich verleiht die JEC Composites, eine internationale Gesellschaft zur Förderung von Faserverbundwerkstoffen, den Innovation Award in verschiedenen Kategorien. Zu einer der 2010 auf der JEC Composites Show in Paris geehrten Gruppen gehören auch DLR-Forscher. Für das DLR-Magazin sprach Lena Fuhrmann mit einem, der dabei war: Florian Weyrauch vom DLR-Institut für Bauweisen- und Konstruktionsforschung.

Auf der weltweit führenden Verbundwerkstoffmesse stark beachtet: neue Fertigungsmethoden für Flugzeuge

Herr Weyrauch, Ihr Team gehört zu den Preisträgern des JEC Innovation Award 2010. Herzlichen Glückwunsch!

Danke. Wir haben den 1. Preis in der Kategorie „Verarbeitung“ erhalten – für die Arbeiten in dem europäischen Forschungsprojekt MoJo, das bedeutet „Modular Joints for Composite Aircraft Components“. Da geht es um die modulare Verbindung von Luftfahrtbauteilen aus Faserverbundmaterial. MoJo ist ein Gemeinschaftsprojekt: Der Flugzeugkomponentenhersteller S.A.B.C.A. hat die Forschungsergebnisse bei der JEC eingereicht. Premium Aerotec, ein deutscher Lieferant von Flugzeugstrukturen, hat MoJo geleitet.

Worum geht es im Projekt MoJo genau?

Um ein Luftfahrt-Bauteil, das wir in einer CFK-gerechten Bauweise entwickelten. CFK, also der kohlenstofffaserverstärkte Kunststoff, verlangt ganz anderes Vorgehen. Bei dem 1,4 Meter langen Bauteil handelt es sich um einen sogenannten Flap-Track, das ist ein Träger im Flügel von Verkehrsflugzeugen, er führt die Landeklappen. Ziel war es, mit einer neuen, integralen Bauweise sowie dem Nachweis ihrer Funktionsfähigkeit diese strukturellen Bauteile kostengünstig herzustellen.

Was hat das DLR zu diesem Projekt beigetragen?

Das DLR-Institut für Faserverbundleichtbau und Adaptivtechnik in Braunschweig hat ein kontinuierliches Verfahren entwickelt, um CFK-Preforms, also quasi die Form für Profile, zu fertigen, die beim Flap-Track zur Verbindung der einzelnen Bauelemente verwendet werden. Preforms sind aus einem Gewebe gefertigt, das ohne thermoplastischen Kleber schlaff herunterhängen würde – etwa wie der Kragen einer ungesteiften Bluse. Aus dieser Preform entsteht anschließend das fertige Bauteil, indem wir unter Vakuum Harz injizieren. Das Institut für Bauweisen- und Konstruktionsforschung im DLR Stuttgart hat dafür ein Konzept für ein flexibles Werkzeug entworfen sowie die Grundplatte des Flap-Track gefertigt. Die entwickelten Bauweisen eignen sich für unterschiedlichste Bauteile im Flugzeug, beispielsweise für Fracht- und Passagiertüren, Türrahmen und Ruderschalen sowie für die „Rippen“, die sogenannten Stringer, die den Rumpf eines Flugzeugs längsseitig stabilisieren. Wir konnten während der Projektlaufzeit Fertigungstechniken entwickeln, die den Weg zu einer leichteren und damit kostengünstigeren sowie umweltfreundlicheren Luftfahrt weisen.

Partner des Projekts MoJo:

Cooperative Research Centre for Advanced Composite Structures (CRC-ACS), DLR, Universität Patras, Výzkumný a zkušební letecký ústav (VZLU), KTH-University of Stockholm sowie aus der Industrie Biteam AB, Dassault Aviation, Eurocopter Deutschland GmbH, EADS, Premium AEROTEC GmbH (PAG), Société anonyme belge de constructions aéronautiques (S.A.B.C.A.), Secar Technologie GmbH

Zum Preis:

Die Auszeichnungen werden jedes Jahr auf der JEC Composites Show in elf Kategorien verliehen, zum Beispiel Umwelt und Recycling, Bauwesen, Luft- und Raumfahrt, Windenergie, Freizeit und Automatisierung. Im Jahr 2008 erreichte das DLR-Institut für Faserverbundleichtbau und Adaptivtechnik auf der JEC den 2. Platz in der Kategorie Luft- und Raumfahrt für die ebenfalls im Projekt MoJo durchgeführten Arbeiten zum Thema „Kontinuierliches induktives Preforming“.



Florian Weyrauch ist Projektleiter am DLR-Institut für Bauweisen- und Konstruktionsforschung im DLR Stuttgart.



Weitere Informationen:

www.jecomposites.com
www.DLR.de/bk
www.DLR.de/fa

Was heißt hier schon der Reihe nach?

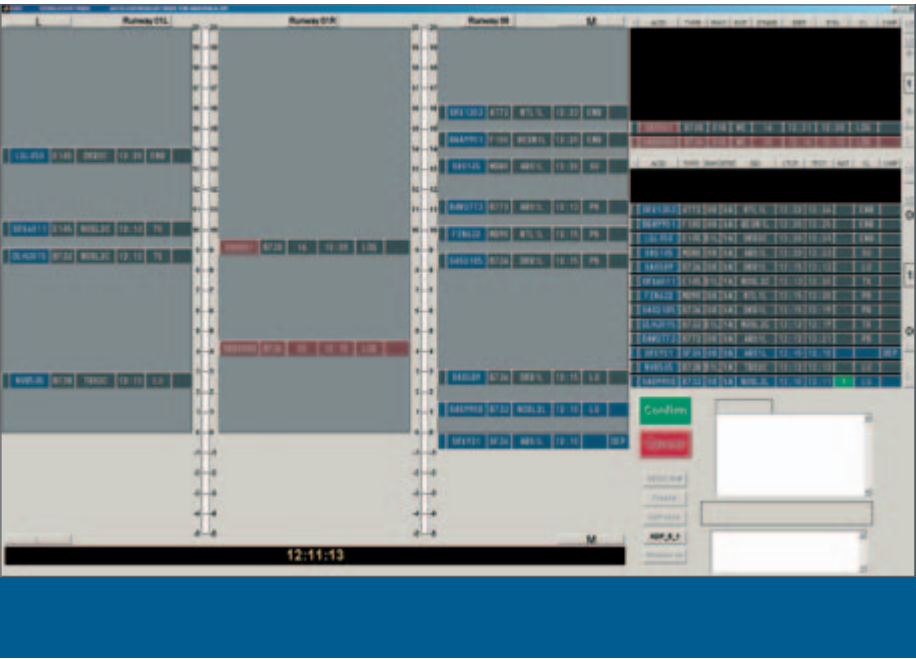
Mit nur wenigen Metern Kursabweichung können moderne Verkehrsflugzeuge ihrer Route folgen, Treibstoff sparend zu Boden gleiten, sekundengenau landen. Doch allzu oft wird der technologische Vorsprung von den Prozessen am Boden wieder aufgezehrt. Neue Unterstützungssysteme für Lotsen sollen das ändern. Sparsam starten und ohne Verzug landen, lautet die Devise. Im Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt werden sie erarbeitet. Am besseren Management von An- und Abflügen arbeitet das Braunschweiger DLR-Institut für Flugführung.

Neue Unterstützungssysteme für Lotsen – sparsam starten, optimal landen

Von Prof. Dr.-Ing. Hartmut Helmke und Meilin Schaper

Bis zum Jahr 2025 wird sich der Luftverkehr verdoppeln. Das bleibt nicht ohne Auswirkungen auf die Umwelt. Am Boden führt das zu Engpässen und damit zu Wartezeiten, die wiederum die Umwelt belasten. Die Fluglotsen stehen vor einer Reihe von Herausforderungen: Ihnen obliegt es, dafür zu sorgen, dass der begrenzt zur Verfügung stehende Luftraum bestmöglich genutzt wird und Warteschlangen am Boden sowie in der Luft vermieden werden. Dazu kommt der Anspruch, Treibstoff sparende An- und Abflugverfahren zu ermöglichen und auch den Fluglärm zu verringern, was dem Lotsen weitere Aufgaben aufbürdet. Nur durch Einführung neuer Verfahren kann der technologische Fortschritt bei den Flugzeugen voll zum Tragen kommen. Heute schon sind moderne Verkehrsflugzeuge in der Lage, einer vorgegebenen Route mit nur geringer Abweichung zu folgen und gewünschte Landezielzeiten bis auf wenige Sekunden genau einzuhalten. Ihre Startzeit könnte so gewählt werden, dass das Flugzeug ohne Warteschleifen zum Zielflughafen gelangt. Gleichzeitig besteht an Bord die Möglichkeit, den Beginn des Sinkfluges entsprechend den aktuellen Wetterverhältnissen als Gleitflug, also fast ohne Schub und damit sehr Treibstoff sparend, zu berechnen. Doch damit dieser technologische Fortschritt wirklich greift, sind neue boden- und luftseitige Prozeduren nötig.





Mensch-Maschine-Schnittstelle des neuen Abflugmanagementsystems CADEO, wie es der Tower-Lotse künftig sehen könnte. Links drei Zeitleiter für die verschiedenen Start-/Landebahnen, rechts die Flugstreifendarstellung. Die Ankünfte (braun) und Starts (blau) sind mit ihrer geplanten Zeit in der Zeitleiter eingetragen. Sie sind ebenfalls in der Flugstreifendarstellung rechts enthalten.

Weltweit wird deshalb an Unterstützungssystemen für Lotsen gearbeitet. Sie sollen den Lotsen helfen, den Luftverkehr besser zu planen, zu überwachen und durchzuführen. Die neuen Unterstützungssysteme eint, dass sie lediglich als Assistenten fungieren und die letztendliche Entscheidung in der Hand der Lotsen belassen, die bestimmen, welche Vorschläge sie annehmen und wie diese umgesetzt werden.

Sparen beginnt vor dem Start

Ist das Flugzeug startbereit, meldet sich der Pilot im Tower. Der für den Start zuständige Clearance Delivery Lotse gibt die Flugstrecke durch und der Pilot lässt die Triebwerke an. Steht das Flugzeug direkt am Terminal, wird eine Freigabe zum Zurücksetzen durch einen Schlepper benötigt, die sogenannte Pushback Clearance. Anschließend gibt der Lotse die Rollfreigabe (Taxi-Clearance). Wenn sich mehrere Flugzeuge zeitgleich abflugbereit gemeldet und ihre Freigaben auch nahezu zeitgleich erhalten haben, sind mehr Flugzeuge auf dem Weg zur Startbahn als in dieser Zeit abheben können. Am Startbahnkopf bildet sich eine Warteschlange. Überholen ist nun kaum mehr möglich. Wer zuerst da ist, rangiert vorn: First-come-first-serve. Jedes Flugzeug muss nun warten, bis der für den endgültigen Start zuständige Lotse (Runway Controller) die Startfreigabe (Take-off Clearance) erteilt.

Neue Unterstützungssysteme für den Abflugverkehr (Departure Manager) setzen an zwei Stellen an: Je nach Flugzeuggröße und gewählter Abflugroute müssen unterschiedliche Abstände zwischen startenden Flugzeugen eingehalten werden. Diese Zeitabstände können zwischen 40 und 240 Sekunden variieren – hier gibt es Optimierungspotenzial. Zum anderen sollen die Flugzeuge auf ihrer Parkposition so lange wie möglich mit ausgeschalteten Triebwerken stehen, dennoch aber genau zu ihrer geplanten Startzeit an der Startbahn sein. Dafür ermittelt das neue System aus allen geplanten Startzeiten Empfehlungen, wann die Freigabe für jedes der Flugzeuge gegeben werden sollte. Dieses Verfahren reduziert Lärm und spart Kerosin.

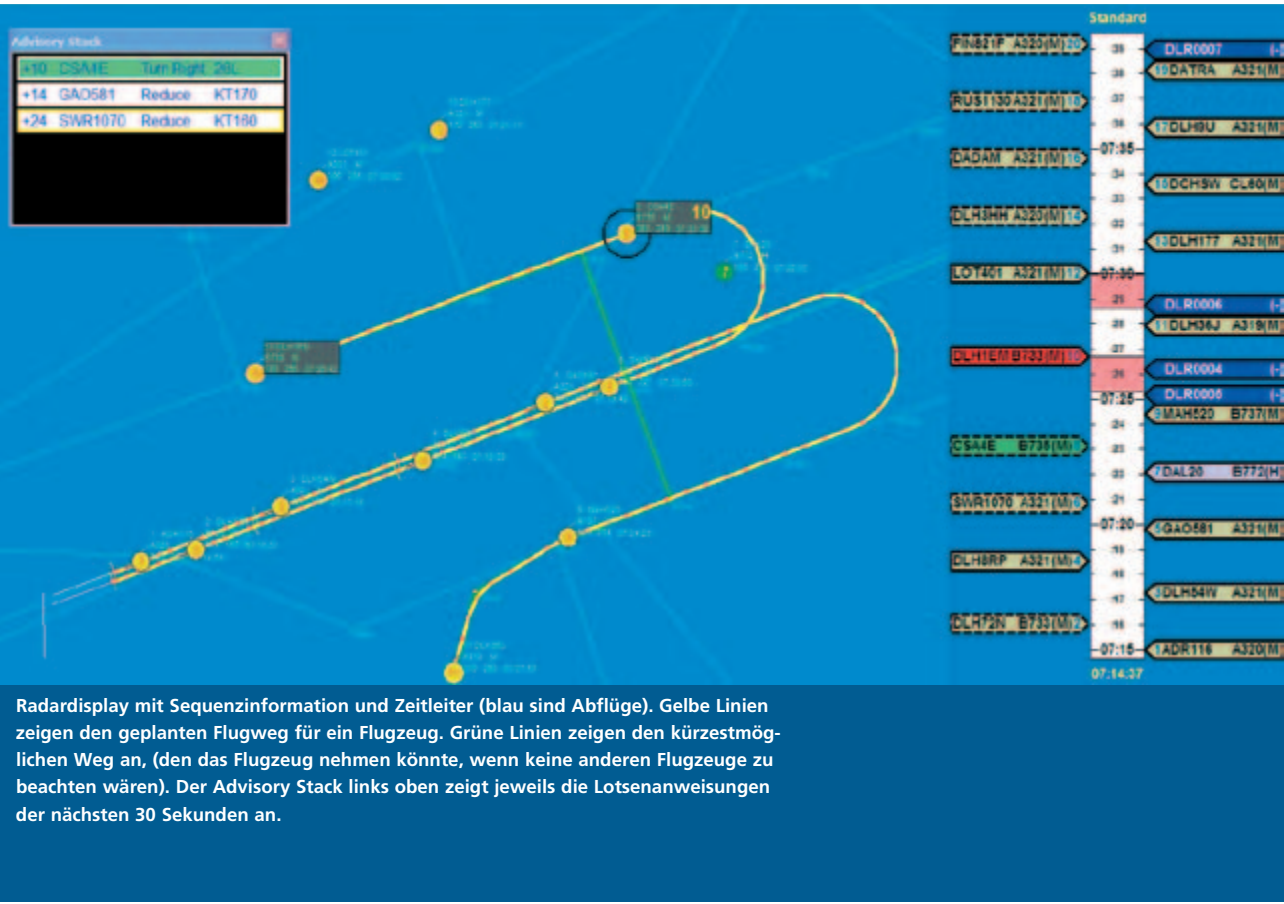
Mit der Einführung eines Departure Managers (DMAN) ändern sich somit die Prozeduren am Flughafen. Die Piloten erhalten ihre Freigaben nicht mehr ad hoc, sondern das System errechnet unter Berücksichtigung der Gesamtverkehrssituation den optimalen Zeitpunkt für die Freigabe. Der Lotse erhält somit

Empfehlungen, wann, welchen und wie vielen Flugzeugen er die Freigaben geben sollte. Das DLR hat sein Departure Management System CADEO (Controller Assistance for Departure Optimisation) inzwischen mehrfach erfolgreich überprüft. Dazu führte es verschiedene Simulationen in Braunschweig und Malmö (Schweden) durch. Außerdem kam CADEO im Tower des Athener Flughafens zum Einsatz, wo es den dortigen Clearance Delivery Lotsen bei der Arbeit mit den geänderten Prozeduren unterstützte.

Landen in optimaler Reihenfolge

Auch in der Luft und insbesondere bei der Landung muss zwischen zwei anfliegenden Flugzeugen ein bestimmter Sicherheitsabstand eingehalten werden, um nicht in die Wirbelschleppen des Vorausfliegenden zu geraten. Circa 30 Minuten vor der Landung tritt ein Flugzeug in den Verantwortungsbereich des Anfluglotsen ein. Auf Basis der Radardaten führt er die ankommenden Maschinen per Funk durch Höhen- und Geschwindigkeitsanweisungen zur Landebahn. Dabei ergibt sich die Landereihenfolge heute meist nach dem First-come-first-serve-Prinzip. Der notwendige Abstand hängt von den Gewichtsklassen der Maschinen ab. Durch geschickte Wahl der Flugzeugreihenfolge kann die Taktung erhöht werden: Fünf schwere und fünf mittelschwere Flugzeuge benötigen beispielsweise – immer abwechselnd geplant – einen räumlichen Abstand zwischen dem ersten und letzten Flugzeug von mindestens 69 Kilometern. Bei einer Reihenfolge von zuerst fünf mittelschweren, gefolgt von fünf schweren Flugzeugen würden dagegen rund 57 Kilometer ausreichen. Auch hier also lässt sich Zeit und damit wiederum Treibstoff sparen.

Doch die Aufgabe eines Anfluglotsen beschränkt sich nicht nur auf die Wahl einer optimalen Anflugreihenfolge, er muss diese auch durch geeignete Anweisungen per Sprechfunk an die Piloten weitergeben. Die heutzutage eingesetzten Anflugplanungssysteme unterstützen ihn dabei noch unzureichend. Die jüngste Entwicklung des DLR, das Anflugmanagementsystem 4D-CARMA (4D Co-operative ARrival Manager), schließt diese Lücke. 4D-CARMA ermittelt für jedes anfliegende Flugzeug aus den Radardaten und den gespeicherten Anflugprozeduren den kürzesten Flugweg. Auf Basis von gespeicherten Flugzeugmodellen errechnet das System zusätzlich die frühestmögliche Landezeit für jedes Flugzeug sowie eine optimale Landereihenfolge.



Radardisplay mit Sequenzinformation und Zeitleiter (blau sind Abflüge). Gelbe Linien zeigen den geplanten Flugweg für ein Flugzeug. Grüne Linien zeigen den kürzestmöglichen Weg an, (den das Flugzeug nehmen könnte, wenn keine anderen Flugzeuge zu beachten wären). Der Advisory Stack links oben zeigt jeweils die Lotsenanweisungen der nächsten 30 Sekunden an.

Aus den geplanten Landezeiten ermittelt 4D-CARMA für jedes Flugzeug dann eine vierdimensionale Flugbahn von der aktuellen Position zur Landebahn, die sogenannte Trajektorie. Daraus ergeben sich die Anweisungen zum Eindrehen, Sinken oder zur Geschwindigkeitsanpassung.

Flexibel und stabil zugleich

Wie jede Planung unterliegen auch An- und Abflugplanungen gewissen Unsicherheiten. Am Boden nicht wahrnehmbare Wettereinflüsse oder abweichendes Lotsenverhalten zählen dazu. Deshalb sind sowohl CADEO als auch 4D-CARMA adaptiv ausgelegt: Sie passen sich ständig an die aktuelle Situation an. Die Schwierigkeit dabei besteht darin, eine akzeptierte Balance zwischen Adaptivität und Stabilität der Systeme zu erreichen. So soll die Anpassung an die aktuelle Situation mit einer möglichst hohen Wiedererkennung des bisherigen Plans einhergehen. Dem Anflugmanagementsystem 4D-CARMA stehen dafür Radardaten zur Verfügung. Das Abflugmanagementsystem CADEO muss hingegen vorerst auf solche Positionsdaten verzichten, weil derzeit erst wenige Flughäfen mit einem Bodenradar ausgestattet sind, das Flugzeuge identifiziert und ihre Position liefert. Zur groben Schätzung der Flugzeugposition im Abflugprozess greift CADEO deshalb auf die manuellen Eingaben zurück, beispielsweise auf Anlass- und Rollfreigaben.

Der Automatisierungsgrad wird zukünftig auch am Boden weiter zunehmen. Dabei wird jedoch der Operateur weiterhin der verantwortliche Entscheider bleiben, wenn auch bei veränderten Aufgaben. Einige Aufgaben werden zum Piloten, andere zu den Automatisierungssystemen an Bord wandern. Lotsen werden mehr und mehr eine überwachende Rolle übernehmen, wodurch aber Fähigkeiten wie beispielsweise bei der Konfliktlösung verloren gehen können. Auch das Situationsbewusstsein kann beeinträchtigt werden. Beides konnte bereits aufgrund der

zunehmenden Automatisierung auf Pilotenseite beobachtet werden. Die optimale Arbeitsteilung zwischen Operateur und Automat ist deshalb weiterhin Gegenstand der Forschung. Diese kann bei jedem Operateur anders aussehen. Hierzu müssen die operationellen Konzepte und die optimalen Mensch-Maschine-Schnittstellen über verschiedene Disziplinen hinweg in enger Zusammenarbeit entwickelt und in Simulatoren validiert werden.

Autoren:
Prof. Dr.-Ing. Hartmut Helmke und Meilin Schaper sind wissenschaftliche Mitarbeiter in der Abteilung Lotsenassistenz des DLR-Instituts für Flugführung in Braunschweig. Prof. Helmke leitet das Vorhaben „Anflug-, Rollverkehrs- und Abflug-Management“ und ist Honorarprofessor an der Fachhochschule Ostfalia in Wolfenbüttel. Er leitet die 4D-CARMA-Entwicklungsarbeiten, Meilin Schaper hat diese Rolle für CADEO inne.

Weitere Informationen:
www.DLR.de/fl/lotsenassistenz
www.DLR.de/fl

Verkehrsemissionen: ein Problem für das Klima

Der Transportsektor verzeichnet rasches Wachstum – das bleibt nicht ohne Folgen für das Klima. Hinsichtlich der Emission von Treibhausgasen ist der Verkehr der am schnellsten wachsende Bereich menschlicher Aktivität. Das gilt in besonderem Maße für die Europäische Union, wo zwar der Kohlendioxidausstoß und der anderer Gase aus dem Kyoto-Protokoll insgesamt abnahmen, die Emissionen durch den Verkehr demgegenüber aber um 37 Prozent zulegt. Besonders stark schlägt der Anstieg des Luftverkehrs mit etwas mehr als einer Verdopplung im Zeitraum von 1990 bis 2007 zu Buche, Tendenz steigend. In zehn Jahren würde der Verkehr unter Beibehaltung der Trends nahezu die Hälfte der Kohlendioxid-Äquivalenz-Emissionen (neben CO₂ gehören noch Methan, Lachgas und andere dazu) ausmachen. Grund genug, den Beitrag des Verkehrs zur Klimabeeinflussung genauer zu betrachten: im Projekt QUANTIFY und in ATTICA.

Ergebnisse des europäischen Atmosphärenforschungsprojekts QUANTIFY und der Aktion ATTICA

Von Prof. Dr. Robert Sausen

Der Verkehr emittiert nicht nur Treibhausgase wie Kohlendioxid (CO₂) und Lachgas (N₂O). Er beeinflusst das Klima auch durch eine Reihe weiterer Prozesse, die nicht durch das Kyoto-Protokoll geregelt sind: Dazu gehören Emissionen von Wasserdampf, von Ozonvorläufern wie Stickoxiden (NO_x) und von Partikeln und deren Vorläufern (zum Beispiel Ruß, Schwefelverbindungen). Die Wolkenbildung wird angeregt (Kondensstreifen, Kondensstreifen-Zirren) und natürliche Wolken werden modifiziert, beispielsweise durch Emissionen von Ruß und Schwefelverbindungen. Diese sogenannten Nicht-CO₂-Effekte spielen beim Verkehr eine besonders wichtige Rolle, da dieser häufig in Regionen und Höhen emittiert, in denen es sonst keine großen Quellen gibt.

In der EU-15 nahm die Summe aller Äquivalent-CO₂-Emissionen von Treibhausgasen, wie sie im Kyoto-Protokoll geregelt sind, vom Basis-Jahr 1990 bis 2007 um 5,5 Prozent ab. Dementgegen stiegen im gleichen Zeitraum die entsprechenden Emissionen des Verkehrs um 36,5 Prozent an. Lag 1990 der Anteil der Verkehrsemissionen noch bei knapp 22 Prozent aller Äquivalent-CO₂-Emissionen der EU-15, so waren 2007 bereits knapp 32 Prozent erreicht. Falls die EU ihr neues Reduktionsziel (bis 2020 minus 20 Prozent relativ zu 1990) erreicht und die Verkehrsemissionen ähnlich schnell wachsen wie in den beiden jüngsten Jahrzehnten, würde der Anteil des Verkehrs im Jahr 2020 circa 45 Prozent betragen.

Kondensstreifen über der Biscaya vor der französischen Atlantik-Küste



QUANTIFY-Messkampagne am westlichen Ausgang des Ärmelkanals

©Jana Moldanova
IM-Svenska Miljöinstitutet

Sowohl der wachsende Anteil des Verkehrs an der Klimaänderung als auch die mit dem Verkehr verbundenen besonderen Klimaeffekte legten es nahe, die Beiträge des Verkehrs systematisch zu quantifizieren. Das war Ziel des im März 2005 gestarteten Projekts QUANTIFY (Quantifizierung der Klimawirkungen des globalen und europäischen Verkehrssystems – Quantifying the Climate Impact of Global and European Transport Systems) mit einem Kostenrahmen von 12,8 Millionen Euro und 41 teilnehmenden Einrichtungen aus 19 Ländern. Parallel wurden in ATTICA (European Assessment of Transport Impacts on Climate Change and Ozone Depletion) Sachstandsberichte zur Klimawirkung der einzelnen Verkehrsträger und zu Maßzahlen erstellt, um deren Klimawirkungen vergleichen zu können.

Die Auswirkungen des Verkehrs auf die Zusammensetzung der Atmosphäre und auf das Klima lassen sich anhand der QUANTIFY-Prozesskette verdeutlichen. Die Emissionen der wichtigen Verkehrsträger (Luftfahrt, Schifffahrt und Landverkehr) wurden durch zweidimensionale (Länge mal Breite) beziehungsweise dreidimensionale (bei Luftfahrt zusätzlich Höhe) Emissionskataster einschließlich Tages- und Jahresgang beschrieben. Die Daten umfassen unter anderem Kohlendioxid (CO_2), Stickoxide (NO_x), Ruß und zurückgelegte Strecken der Verkehrsträger. Die Emissionen werden im Nahfeld hinter der Quelle chemisch und mikrophysikalisch prozessiert und auf größere räumliche Skalen verteilt. Da die Prozesse nicht linear ablaufen und Luftverkehr und Schifffahrt hohe Quellstärken aufweisen, verdienen in diesem Zusammenhang diese Verkehrsträger besondere Betrachtung. Deshalb wurde in QUANTIFY eine umfangreiche Messkampagne mit dem DLR-Forschungsflugzeug Falcon durchgeführt. So wurde die Wirkung der Prozesse im Nahfeld hinter Schiffen bestimmt.

Die emittierten Stoffe werden auf großräumiger Skala weiter umgewandelt und transportiert, bis sie schließlich durch Senkenprozesse (Auswaschen, Ablagerung am Boden) aus der Atmosphäre verschwinden. Die NO_x -Emissionen des Verkehrs führen zu einer katalytischen Bildung von Ozon. Da der Luftverkehr seine Abgase vor allem in größeren Höhen (acht bis 13 Kilometer) freisetzt, existieren die NO_x -Moleküle länger als am Erdboden emittierte; auch Ozon existiert dort länger. So kommt es, dass jedes NO_x -Molekül aus dem Luftverkehr zu etwa fünfmal so vielen Ozonmolekülen führt, wie aus einem NO_x -Molekül aus dem Straßenverkehr resultieren. Das durch den Verkehr zusätzlich gebildete Ozon führt zu einer Erwärmung des Klimas.

Gleichzeitig mit der Bildung des Ozons wird bei den hierbei ablaufenden chemischen Prozessen Methan abgebaut. Das wiederum hat einen kühlenden Effekt. Hier sind die Schiffsabgase, die häufig weit entfernt von den anderen vom Menschen verursachten Emissionen erfolgen, besonders effektiv: Pro emittiertem NO_x -Molekül aus der Schifffahrt wird die Lebensdauer von Methan etwa viermal so stark reduziert, wie das bei einem NO_x -Molekül aus der Luftfahrt der Fall ist. In der Summe führen die NO_x -Effekte des Land- und Luftverkehrs zu einer Klimaerwärmung, die der Meeres-Schifffahrt zu einer Abkühlung.

Verkehrsemissionen beeinflussen auch die Bewölkung. Besonders sichtbar ist das anhand der Bildung von Kondensstreifen und sogenannten Ship Tracks. Kondensstreifen entstehen aus den Wasserdampfemissionen des Luftverkehrs. Bei hinreichend kalter und feuchter Atmosphäre können die Kondensstreifen lange am Himmel existieren und sich unter Nutzung des in der Atmosphäre vorhandenen Wasserdampfs ausbreiten. Schließlich entwickeln sie sich von linienförmigen Kondensstreifen zu Kondensstreifen-Zirren, die auf den ersten Blick nicht von natürlichen Zirren unterscheidbar sind. Je nach Tageszeit, Höhe des Sonnenstands und Hintergrundbedingungen können diese Kondensstreifen und Zirren erwärmend oder abkühlend wirken. In der Summe überwiegt der erwärmende Effekt.

Ship Tracks entstehen in Folge der Schwefel- und Rußemissionen der Schifffahrt. Ähnlich wie bei Kondensstreifen handelt es sich hierbei um linienförmige Wolken, allerdings in niedriger Höhe. Diese Wolken wirken in der Summe kühlend auf das Klima. Neben diesen direkt dem Verkehr zuzuordnenden Wolken gibt es auch noch indirekte Einflüsse auf Wolken aufgrund der Emission von Wolkenkondensationskernen beziehungsweise deren Vorläufern (Ruß, Schwefelverbindungen). Hier sticht die Schifffahrt besonders hervor; speziell deren Schwefelemissionen führen zu einem höheren Bedeckungsgrad durch niedrige Wolken, die die Erde abkühlen.

Neben den bereits genannten Prozessen verändern noch weitere verkehrsbedingte Substanzen und Prozesse den Strahlungshaushalt der Erde. Diese quantifiziert man üblicherweise mittels des sogenannten Strahlungsantriebs (radiative forcing = RF, Einheit W/m^2). Die zu erwartende Änderung im Gleichgewicht der global gemittelten Bodentemperatur ist in erster Ordnung proportional zum Strahlungsantrieb. Positiver Strahlungsantrieb führt zu einer Erwärmung, negativer zu einer Abkühlung.

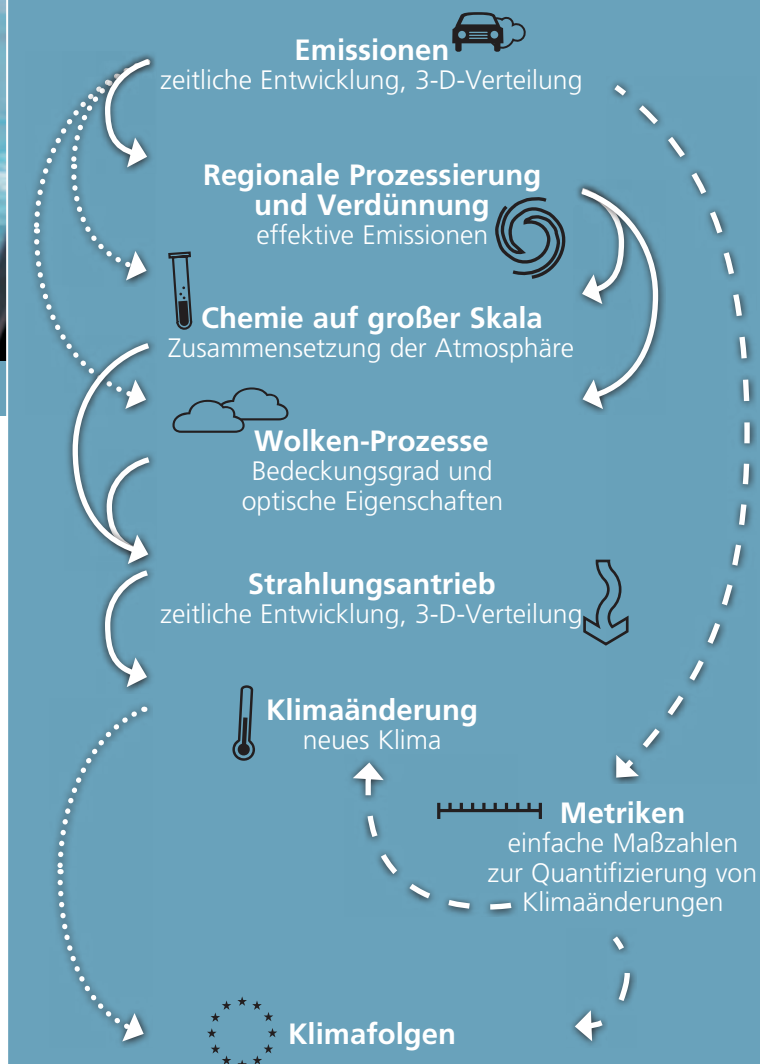
Neben dem langlebigen Treibhausgas CO_2 sind beim Verkehr die in der Regel kurzlebigeren Nicht- CO_2 -Effekte von besonderer Bedeutung. Im Jahre 2005 betrug der gesamte Strahlungsantrieb (aufgrund von CO_2 und der Nicht- CO_2 -Effekte) für den Luftverkehr 78 Milliwatt pro Quadratmeter (mW/m^2), bei der Schifffahrt minus 328 mW/m^2 und im Landverkehr (Straßen- und Bahnverkehr) 193 mW/m^2 ; das sind für den Schiffsverkehr minus 19,8 Prozent, den Luftverkehr 4,7 Prozent und für den Landverkehr 11,6 Prozent des gesamten vom Menschen verursachten Strahlungsantriebs. Während also Luftfahrt und Landverkehr erwärmend wirken, kühlt die Schifffahrt das Klima. Der kühlende Effekt der Schifffahrt geht allerdings mit einer massiven Verschlechterung der Luftqualität einher.

Berücksichtigt man nur die CO_2 -Emissionen des Verkehrs, so lag der 2005 im Projekt QUANTIFY berechnete Strahlungsantrieb des Luftverkehrs bei 28 mW/m^2 , der Schifffahrt bei 34 mW/m^2 und des Landverkehrs bei 171 mW/m^2 – das sind 1,6 Prozent, 2,0 Prozent beziehungsweise 10,3 Prozent des gesamten vom Menschen verursachten Strahlungsantriebs.

Der Strahlungsantrieb führt letzten Endes zu einer Klimaänderung, die sich nicht nur in einer Temperaturänderung, sondern auch in anderen Variablen manifestiert, zum Beispiel in Änderungen des Niederschlags oder von Extremwetterereignissen. Die CO_2 -bedingten Klimaantriebe und die Antriebe durch die Nicht- CO_2 -Effekte des Verkehrs unterscheiden sich in ihrer geographischen Verteilung. Daraus folgen unterschiedliche räumliche Muster der Temperaturänderung.

Genau berechnen lässt sich der Beitrag von Emissionen zur Klimaänderung nur mit kostspieligen numerischen Simulationen auf Hochleistungsrechnern. Näherungsweise lassen sich die in aufwändigen Studien gewonnenen Resultate mit Hilfe von Maßzahlen (Metriken) darstellen. Das reicht in vielen Fällen aus, um verschiedene Klimaeffekte des Verkehrs untereinander und mit anderen anthropogenen Klimaeffekten quantitativ zu vergleichen. In QUANTIFY wurden hierzu primär Maßzahlen auf Basis des zeitlich integrierten Strahlungsantriebs und auf Basis der Temperaturänderung untersucht. Mit Abschluss des QUANTIFY-Projekts im Februar 2010 steht nun ein quantitativer Vergleich der Klimawirkung verschiedener Verkehrsträger zur Verfügung.

QUANTIFY-Prozesskette



Autor:

Prof. Dr. Robert Sausen vom DLR-Institut für Physik der Atmosphäre ist Klimamodellierer. Er befasst sich insbesondere mit Auswirkungen des Verkehrs auf die Zusammensetzung der Atmosphäre und das Klima. Er war koordinierender Leitautor des IPCC Special Reports „Aviation and the Global Atmosphere“ und wurde zum Leitautor des 5. Sachstandsberichts des IPCC berufen.

Weitere Informationen:

<http://ip-quantify.eu>
www.DLR.de/PA

Vorhang für den fliegenden Verwandlungskünstler

Im September 2010 begehen die Luftfahrtforscher am DLR-Standort Braunschweig ein kleines Jubiläum: Vor 25 Jahren, am 24. Oktober 1985, traf das Forschungsflugzeug ATTAS (Advanced Technologies Testing Aircraft System) nach einer mehrjährigen Umrüstphase erstmals an seinem neuen Zuhause ein.

VFW 614 ATTAS – ein richtungsweisender Flugversuchsträger kam vor 25 Jahren zum DLR

Lena Fuhrmann, DLR-Kommunikation, sprach mit Hans-Jürgen Berns, DLR-Flugbetriebe.

Herr Berns, was für ein Flugzeugtyp ist ATTAS?

ATTAS ist eine stark modifizierte VFW 614, ein zweistrahliges Verkehrsflugzeug. Die VFW 614 ist Kennern der Luftfahrtsszene seit 40 Jahren ein Begriff und unterscheidet sich von anderen Mustern vor allem durch die auffällige Anordnung der beiden Triebwerke auf der Oberseite der Tragflügel. Das Flugzeug wurde in Deutschland in den späten Sechzigerjahren als 40-sitziges Kurzstreckenverkehrsflugzeug entwickelt.

Was war an diesem Flugzeug besonders?

Der Entwurf war seinerzeit in vielerlei Hinsicht richtungsweisend: Die VFW 614 erhielt beispielsweise erstmalig sogenannte Fan-Triebwerke, die heute Standard bei Verkehrsflugzeugen sind. Leider war das Projekt wirtschaftlich nicht erfolgreich. Das Programm wurde 1977 eingestellt – nach nur 19 produzierten Exemplaren.

Eines davon schlug eine zweite Karriere als Forschungsflugzeug ein. Was hat das DLR verändern lassen, bevor es ATTAS nach Braunschweig holte?

Für die damalige Deutsche Forschungs- und Versuchsanstalt für Luft- und Raumfahrt (DFVLR), wie das DLR in den Achtzigern noch hieß, wurde das Flugzeug mit einem Versuchssystem ausgerüstet und bekam seinen neuen Namen: VFW 614 ATTAS. Äußerlich erkennt man die Besonderheit dieses Exemplars an dem Nasenmast. Die wesentlichen Änderungen befinden sich jedoch im Inneren: Diese umfassen neben Messanlage mit Datenaufzeichnung, Zusatzsensorik und Versuchsaeronik insbesondere ein Flugsteuerungssystem. Das erlaubt es, mit geringem

Aufwand die Flugeigenschaften zu verändern. Dadurch kann ATTAS zum Beispiel unter Einsatz der sogenannten Modellfolgeregelung als fliegender Simulator („In-Flight-Simulator“) eingesetzt werden, also als ein Flugzeug, das während des Fluges die Flugeigenschaften anderer Flugzeuge abbilden kann. Ebenso können bestimmte Umweltbedingungen wie beispielsweise Böen oder Wirbelschleppen simuliert werden. Während des gesamten Einsatzzeitraums hat das DLR die Systeme des ATTAS ständig modernisiert und erweitert.

Wo wurde ATTAS eingesetzt?

In den 25 Jahren hat ATTAS wesentlich zum Renommee des DLR beigetragen. Neben dem speziellen Einsatz als fliegender Simulator ist das Flugzeug bis heute in zahlreichen Technologieprojekten mit großem Erfolg geflogen. Kollegen aus verschiedenen DLR-Instituten nutzen vor allem die Möglichkeiten der frei programmierbaren Flugsteuerung, das nimmt den größten Teil der etwa 130 Stunden pro Jahr ein. Andere Themen waren zum Beispiel Wirbelschleppen hinter Verkehrsflugzeugen, Verbesserung lärmärmer Anflugverfahren, Luftverkehr und Umweltverschmutzung und unbemannte Flugkörper im kontrollierten Luftraum.

Die „alte Lady“ hat auch bei den Jungen Spuren hinterlassen...

Genau. ATTAS war auch ein „fliegendes Klassenzimmer“: In den Jahren 2000 bis 2008 wurden Flugversuchingenieurschüler der britischen Testpilotenschule Empire Test Pilots' School (ETPS) auf ATTAS ausgebildet und Studenten der Technischen Universität Berlin haben regelmäßig Praktika durchgeführt. Themenschwerpunkt war hierbei jeweils die Modifikation und anschließende Bewertung von Flugeigenschaften. Angesichts ihres fortgeschrittenen Alters wird ATTAS in naher Zukunft in den Ruhestand gehen.



Hans-Jürgen Berns leitet die Gruppe Flugversuch der DLR-Flugbetriebe in Braunschweig und arbeitet seit 20 Jahren mit ATTAS. In dieser Zeit hat er zahlreiche Forschungsflüge begleitet.

Weitere Informationen:

www.DLR.de/attas
www.DLR.de/fb

„Structure follows
Strategy“

START
STOP
ENGINE

© Rainer Sturm pixelio.de

Der Weg des DLR – gemeinsames Nachdenken lohnt sich

Ein Kommentar von Prof. Dr.-Ing. Johann-Dietrich Wörner



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

Positionen zu aktuellen Fragen und
persönliche Erlebnisse beschreibt er auch
unter www.DLR.de/Blogs/janwoerner

Das Beispiel Elektromobilität zeigt, welchen strategischen Herausforderungen eine Forschungseinrichtung unterworfen ist, die zu wesentlichen Teilen aus öffentlichen Mitteln finanziert wird. Während ein Privatunternehmen sich vor allem an der Zukunftssicherung des Unternehmens und der Sicherstellung von Gewinnen ausrichtet, können für eine Einrichtung, die Steuergelder verausgabt, weitergehende Überlegungen von zentraler Bedeutung sein.

Die entsprechende Positionierung und Zieldefinition muss also zum einen gesellschaftliche und gegebenenfalls politische Erwartungen berücksichtigen und zum anderen die selbstgesetzten wissenschaftlichen Perspektiven und Entwicklungsziele anpeilen. Das Beispiel Elektromobilität, dessen unterschiedliche Facetten politischer, wissenschaftlicher und gesellschaftlicher Dimension offensichtlich sind, zeigt zudem das Dilemma der Schwierigkeit einer angemessenen institutionellen Reaktion und Aktion: Sobald Zusatzmittel (in beliebiger Höhe) in Aussicht gestellt werden, beginnt ein Hype, wobei die intellektuelle Durchdringung manchmal auf der Strecke bleibt. Es mischen sich Heilsversprechen und wirtschaftliche Interessen mit intrinsisch motivierten Forscheraktivitäten. Gerade das Thema Elektromobilität hat einen seriösen Umgang verdient, denn es geht im Kern um die Frage der Sicherstellung individueller Mobilität in einer sich rasch ändernden globalen Gesellschaft. Und es geht mehr und mehr um ökologische Fragestellungen.

Als wir im vorigen Jahr einen DLR-Prozess zur Festlegung einer Gesamtstrategie durchgeführt haben, war klar, dass wir inhaltlich auf aktuelle, globale Herausforderungen wie Ressourcenverknappung, Kommunikation, Mobilität und Konflikte bis hin zur Neugier als stärkster Triebfeder eingehen wollten. „Structure follows Strategy“ – so die einfache Formel für die Strukturen im DLR. Der effiziente Mitteleinsatz sollte durch die interne und externe Vernetzung realisiert werden. Die systemische wissenschaftliche Arbeit, die das DLR in allen Schwerpunktbereichen durchführt, postuliert gerade beim Thema Energie eine gesamtheitliche Betrachtung als Grundlage zukunftsorientierter Arbeit: Neben der technischen Lösung sind Fragen der Wirtschaftlichkeit, der Umweltverträglichkeit und der Gesellschaft zu beachten. Nur so kann Fehlentwicklungen vorgebeugt werden.

Mit diesen und anderen Fragen setzten wir uns 2009 im DLR-Strategieprozess intensiv auseinander. Und zwar nicht in einem reinen Top-Down-Ansatz, bei dem der Vorstandsvorsitzende auf der Grundlage der Geschäftsordnung die Strategie festlegt, sondern unter größtmöglicher Transparenz. Zunächst wurde eine Reihe von Aussagen zentral formuliert, durch den Vorstand behandelt und dann in eine breit angelegte Diskussion getragen: Diskussionen mit den Institutsdirektoren, 20 Workshops an den Standorten des DLR mit aktiver Beteiligungsmöglichkeit für alle DLR-Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, ein Intranet-Diskussionsforum und mehr als 60 externe Stakeholder-Interviews mit Ministerien, wissenschaftlichen Einrichtungen und Wirtschaftsunternehmen führten am Ende zu einer Gesamtstrategie, die dem Senat, dem Aufsichts- und Beratungsorgan des DLR, vorgestellt wurde. Auf der Grundlage dieser Gesamtstrategie werden nun im Jahresrhythmus Maßnahmen definiert, die für jeweils zwölf Monate die Erreichung von Teilzielen gewährleisten sollen. Parallel werden die fachlichen Strategien der Schwerpunktbereiche erarbeitet. Nur eine längerfristige Strategie – allerdings natürlich mit der Möglichkeit, innerhalb der strategischen Aussagen auf kurzfristige Aktualität erlangende Aspekte wie Elektromobilität zu reagieren, – kann den Anspruch des DLR erfüllen, als Schrittmacher in wichtigen Zukunftsfeldern anerkannt zu werden.

Zu zweit in die dritte Dimension

Über 27.000 Kilometer in der Stunde – das ist die Geschwindigkeit, mit der die beiden Radarsatelliten TerraSAR-X und TanDEM-X in 514 Kilometer Höhe fliegen und dabei die Erdoberfläche im Blick haben. Nach dem Start am 21. Juni 2010 aus der kasachischen Steppe bei Baikonur waren sie 15.000 Kilometer und damit fast eine halbe Erdumrundung voneinander entfernt. Zurzeit fliegen die beiden Satelliten, die ein dreidimensionales Höhenmodell (Digital Elevation Model, kurz: DEM) der Erde vermessen sollen, mit einem Abstand von gerade einmal 20 Kilometern hintereinander. Ab Oktober soll es dann sogar noch dichter werden – dann beginnt für das Team der TanDEM-X-Mission und die beiden Satelliten eine neue Phase: der enge Formationsflug.

DLR-Redakteurin Manuela Braun sprach mit Harald Hofmann, Projektleiter für den Missionsbetrieb im German Space Operations Center (GSOC) in Oberpfaffenhofen.

TerraSAR-X und TanDEM-X: Was den Formationsflug zweier Erdbeobachtungssatelliten so besonders macht

Interview von Manuela Braun

Wie nah werden sich die beiden Satelliten im Oktober kommen?

Wir führen TanDEM-X bis auf 200 Meter an TerraSAR-X heran. Dabei fliegen die Satelliten in der sogenannten Helix-Formation, das heißt, TerraSAR-X behält seine Bahn bei und TanDEM-X schraubt sich wie bei einem DNS-Strang um diese Flugbahn herum. Die Entfernungen der beiden Satelliten betragen in Flugrichtung dann zwischen Null und einem Kilometer, während sie senkrecht zur Flugrichtung bei minimal 200 Metern liegen – immer in 3-D gesehen.

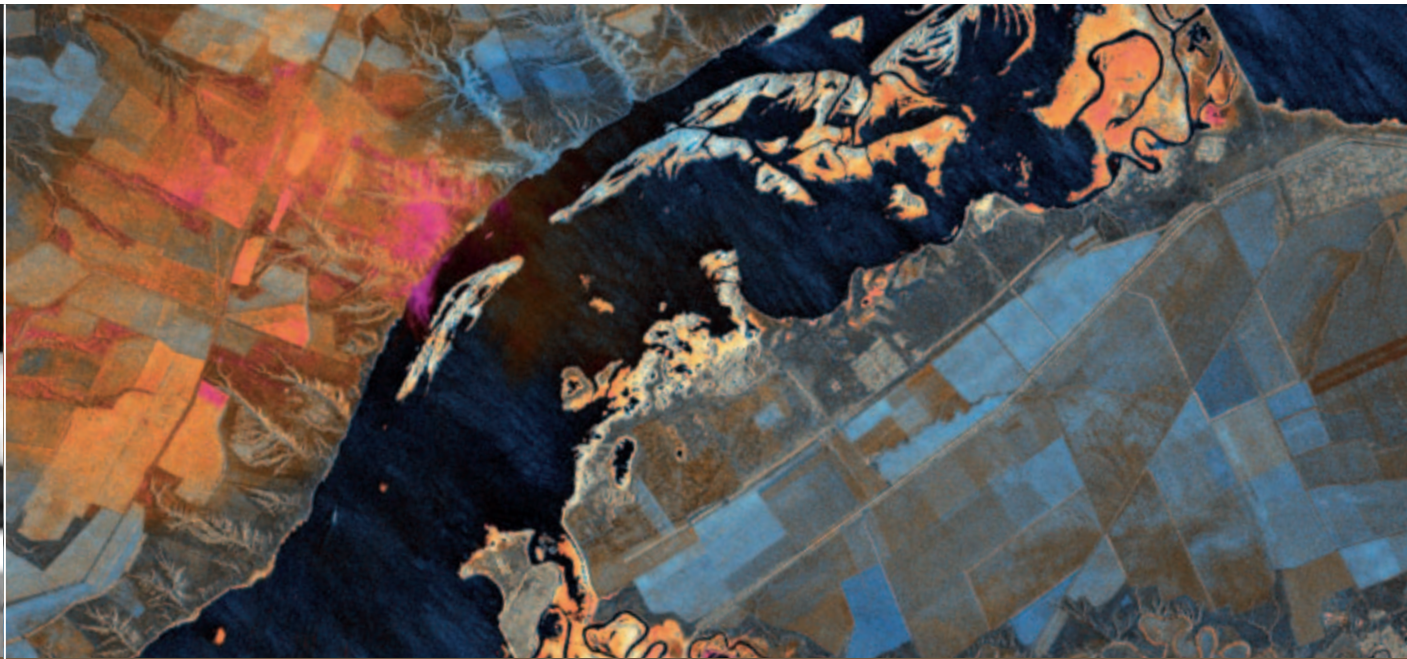
Eine Satellitenmission hat ja mehrere Phasen. In welcher Phase ist TanDEM-X, wenn er die größte Nähe zu TerraSAR-X hat?

Bisher befand sich TanDEM-X in der monostatischen Commissioning-Phase. Monostatisch bedeutet, dass der Satellit für sich allein ausgetestet wurde, ohne Beteiligung von TerraSAR-X. Diese Tests – im Übrigen die gleichen, die auch bei TerraSAR-X durchgeführt wurden – haben wir erfolgreich abgeschlossen. Damit ist das TanDEM-X-Radar nun vollständig kalibriert, ebenso wie sein Gegenstück, und kann jetzt auch alle drei TerraSAR-X-Aufnahmearten ausführen.

Auf diesem in klassischen Atlas-Farben kolorierten TanDEM-X-Höhenmodell ist die Region am russischen Fluss Don bei Kalasch zu sehen. Das Modell ist stark überhöht, der gezeigte Landschaftsausschnitt hat in Wirklichkeit einen Höhenunterschied von circa 200 Metern. Durch die hohe Auflösung der Daten sind auf dem Bild nicht nur Täler und Hochflächen zu erkennen, sondern auch Straßen und Feldergrenzen.



Für den Missionsbetrieb verantwortlich: Harald Hofmann



Test gelungen: 2007 blickte TerraSAR-X auf diese Felder, nun zeichnete TanDEM-X dieselbe Stelle in gleicher Qualität auf



Im Kontrollraum: Konzentration auf den Start von TanDEM-X

Über die Mission

Ein dreidimensionales Höhenmodell der gesamten Erdoberfläche, möglichst homogen und unabhängig von Wetter und Tageslicht erstellt – das ist das Ziel der Mission, bei der TanDEM-X und TerraSAR-X als baugleiche Radarsatelliten um die Erde kreisen. TerraSAR-X zeichnet seit 2007 Daten aus 514 Kilometer Höhe auf, TanDEM-X startete am 21. Juni dieses Jahres. Ab Oktober wird das Satellitenpärchen dann in einer engen Helix umeinanderkreisen, während es mit den Radarinstrumenten aus verschiedenen Blickwinkeln die 150 Millionen Quadratkilometer der Erde abtastet. Die Zwillingsatelliten können dabei zum Beispiel die Ausdehnung der antarktischen Eiskappe aufzeichnen, Daten über potenzielle Überschwemmungsgebiete liefern, Wasserströmungen erfassen oder auch bewegte Objekte aus dem Weltall erkennen und deren Geschwindigkeit messen.

Was kann das TanDEM-X-Radar denn schon und was wird mit dem Formationsflug neu hinzukommen?

Spotlight, Scansar und Stripmap. Die Unterschiede liegen in der Auflösung und der Größe: Spotlight ist, wie der Name schon sagt, sehr klein, die Aufnahme hat eine Bildgröße von normalerweise zehn mal zehn Kilometern, hat dafür aber eine Auflösung bis zu einem Meter. Scansar-Aufnahmen decken hingegen ein Gebiet von 100 Kilometer Breite ab, bieten aber nur eine Auflösung von 18 Metern. Stripmap-Aufnahmen liegen bei 30 Kilometern und circa drei Meter Auflösung. Mit dem Formationsflug beginnt für uns nun die bistatische Commissioning-Phase: Die Radarinstrumente beider Satelliten werden nochmals kalibriert, um dann gemeinsam erstmals Aufnahmen für das 3-D-Höhenmodell machen zu können.

Gibt es schon Erfahrungen für einen so engen Zusammenflug von Satelliten?

Im Prinzip schon, allerdings nur in experimenteller Form, beispielsweise bei Orbital Express oder bei der schwedischen Mission Prisma. Aber eine so enge Formation operationell zu betreiben und auch über einen so langen Zeitraum – darin ist das TanDEM-X-Projekt bisher weltweit einzigartig. Immerhin konnten wir am GSOC anhand des GRACE-Projekts erste Erfahrungen mit dem Formationsflug sammeln, wobei der Abstand da allerdings bei über 200 Kilometern liegt.

Und wie kommt TanDEM-X auf seine neue Flugbahn?

Dafür ist unser Flugdynamikteam zuständig. Es erstellt die Befehle auf der Basis der vorbereiteten Flugprozeduren. Zum Beispiel die Aktivierung der Düsen für zwei Minuten, um ein Manöver durchzuführen. Wir kommandieren diesen Befehl dann zum Satelliten hoch. Die Satelliten selbst haben GPS-Empfänger an Bord, mit diesen Werten kann man die Ausführung des Manövers überprüfen. Es kann natürlich sein, dass ein Satellit sich nicht so verhält, wie er soll. Die Düsen können zum Beispiel ein

paar Prozent mehr oder weniger Schub leisten als in der Theorie berechnet. Um das auszuschließen, haben wir alle TanDEM-X-Manöver der vergangenen Monate genau analysiert.

TerraSAR-X und TanDEM-X sind fast baugleich. Allerdings hat TanDEM-X noch einen zusätzlichen Kaltgasantrieb ...

... der ist extra für den Formationsflug. Beide Satelliten haben einen Hydrazinantrieb, der vergleichsweise viel Schub liefert. Dieser Antrieb ist für die großen Orbitmanöver zuständig. TanDEM-X fliegt aber eine Helix-Bahn, die mit nur 200 Meter Abstand sehr eng ist. TanDEM-X nutzt dafür das Kaltgassystem mit Stickstoff als Antrieb – jede der beiden Düsen erzeugt nur einen Schub von etwa 0,04 Newton, wir können den Schub also viel feiner dosieren.

Wie schafft man es, die Satelliten zuverlässig so nah nebeneinander fliegen zu lassen?

Rein vom Orbit her gesehen ist das gar nicht so schwierig. Die Umlaufbahnen von TanDEM-X und TerraSAR-X sind so ausgeklügelt, dass die Satelliten in einer sogenannten passiven Stabilität zueinander fliegen. Das bedeutet, dass sie ohne äußere Einflüsse – wie Gravitationseinfluss oder auch aktive Benutzung der Triebwerke – nicht kollidieren können. Da es im Weltraum nicht ganz leer ist, hält diese passive Stabilität nur etwa zwei Wochen. Für den Betrieb der Satelliten ist das aber völlig ausreichend. Die Herausforderung besteht vor allem darin, die Aktivitäten so zu planen, dass wir die Formation nicht ungebührlich beeinträchtigen oder die Satelliten anderweitig beschädigt werden.

Welche Vorkehrungen mussten denn dafür getroffen werden?

Oh, das sind sehr viele: Im Prinzip haben wir im gesamten Bodenbereich und auch am Satelliten zusätzliche Funktionen und Programme eingeführt. Dazu gehört zum Beispiel der Exclu-

sion zone check: Wenn die beiden Satelliten in der engen Formation fliegen, muss ausgeschlossen werden, dass sich die beiden gegenseitig bestrahlen. Dabei könnte die Elektronik beschädigt werden. Es werden also Vorkehrungen getroffen, damit keine Radaraktivitäten stattfinden, sobald ein Satellit im Blickfeld des anderen fliegt. Dann darf nur noch einer senden.

Wie exakt können die Bahnen der Satelliten berechnet und gesteuert werden?

Für den Formationsflug reicht es, wenn die Flugdynamik die Formation auf etwa 20 Meter genau einstellt. Dann ist die Geometrie der beiden Satelliten zueinander, wenn sie stereoskopisch auf die Erde schauen, ausreichend, um den Anforderungen des Instruments zu genügen. Die höchste Anforderung kommt aus der Prozessierung des dreidimensionalen Höhenmodells. Wenn die Daten am Deutschen Fernerkundungsdatenzentrum prozessiert werden, muss die relative Position der beiden Satelliten zueinander auf den Millimeter genau bekannt sein. Dafür erzeugen wir ein spezielles Produkt, die sogenannte „präzise Basislinie“.

Wer gehört alles zum Team der TanDEM-X-Mission?

In Oberpfaffenhofen sind vier Institute beteiligt. Das Institut für Hochfrequenztechnik und Radarsysteme ist für den Betrieb und die Kalibrierung des Radarinstrumentes sowie die Gesamtplanung der DEM-Akquisition zuständig. Im Deutschen Fernerkundungsdatenzentrum und im Institut für Methodik der Fernerkundung werden die Radardaten empfangen, prozessiert und archiviert. Hier im Deutschen Raumfahrtkontrollzentrum, dem GSOC – German Space Operations Center – sind vier Abteilungen für die Mission im Einsatz: Die Flugdynamik, das Ground Data System, das für die Kommunikation mit den Bodenstationen verantwortlich ist, die Missionsplanung, die für die bestellten Radaraufnahmen die Kommandos erzeugt, und das Flight Operation System, das heißt der Kontrollraum mit den Ingenieuren für die Subsysteme.

Das ist ja ein gewaltiger Stab von Leuten ...

Ja, allein zum GSOC-Team gehören etwa 50 Personen. Manche arbeiten nur für die TanDEM-X-Mission, andere für mehrere Projekte. Den größten Aufwand hatten wir im Zeitraum um den Start im Juni. Im Normalfall wird es nach dem Start ruhiger, bei TanDEM-X werden wir jetzt im Oktober aber noch mal aufstocken, um das Zusammenführen der Satelliten in die enge Formation zu überwachen. Geplant ist, dass wir dann noch einmal zwei Tage lang Schichtbetrieb im Kontrollraum machen.

Wann gibt es das erste 3-D-Bild der Erde?

Schon während die Satelliten in einer Entfernung von 20 Kilometern flogen, also mit drei Sekunden zeitlichem Abstand, konnten wir durch geschicktes Steuern der Satelliten die ersten Testbilder aufnehmen. Die regelmäßigen 3-D-Aufnahmen gibt es, sobald sie in der engen Formation fliegen.

Wie lange dauert es von der Bestellung einer Aufnahme bis zum Bild?

Das lässt sich nicht so einfach beantworten. Die Missionsplanung findet zweimal am Tag statt, wobei man bis zu sechs Stunden vor einem Planungslauf noch kurzfristig Daten bestellen kann. Dann werden die Kommandos für die Steuerung des Radars erzeugt. Unsere Hauptbodenstationen, um Kommandos an den Satelliten zu senden, sind in Weilheim und Neustrelitz, jeweils morgens und abends.

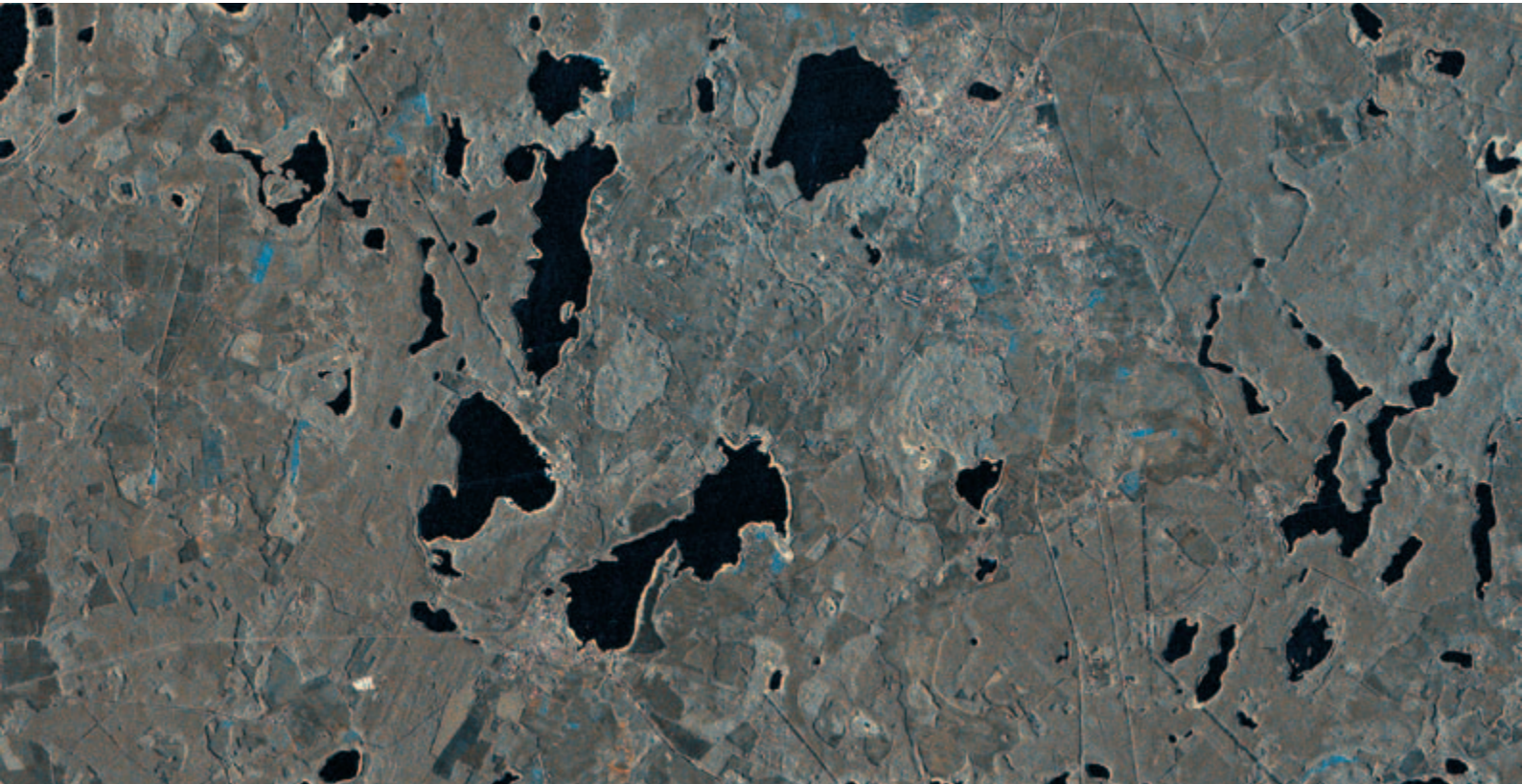
Dann hängt es davon ab, wann der Satellit über das Gebiet fliegt. TerraSAR-X und TanDEM-X fliegen alle elf Tage über exakt dieselbe Stelle. Man kann aber sowohl die Satelliten drehen als auch den Radarstrahl schwenken und so innerhalb von drei bis vier Tagen alle Gebiete erreichen.

Letztlich brauchen wir noch eine Bodenstation, um die Daten zu empfangen und zu prozessieren. Wenn also alles passt, kann alles innerhalb eines Tages ablaufen, im Idealfall sogar innerhalb von sechs bis sieben Stunden.

Was steht nach der Zusammenführung im Oktober an?

Erst mal die bistatische Commissioning Phase bis Ende des Jahres und dann hoffentlich der Routinebetrieb Anfang nächsten Jahres. Im Laufe der Mission werden wir später mehrmals die Helix-Formation ändern, das heißt, verschiedene Abstände der Satelliten zueinander einstellen, um andere Blickwinkel zu erhalten. Einige Gebiete muss man bis zu viermal aufnehmen. Dazu gehören zum Beispiel sehr steile Berge und Schluchten. Insgesamt werden wir etwa zweieinhalb Jahre brauchen, um alle nötigen Daten aufzunehmen. Etwa vier Jahre nach dem Start soll dann das 3-D-Höhenmodell der Erde in voller Schönheit fertig sein.

Weitere Informationen:
www.DLR.de/erdbeobachtung
www.DLR.de/blogs/tandem-x



So sieht das Gebiet rund um die Bodenstation des DLR in Neustrelitz aus, wenn TanDEM-X es mit seinem Radar erfasst



Die Mission in Zahlen

- » Für die globale Abdeckung aller Landflächen der Erde sind **10.000 synchrone Radaraufnahmen** mit beiden Satelliten notwendig. Um Deutschland abzudecken, reichen 27 Radaraufnahmen. Die Datenaufnahme für eine globale Abdeckung dauert ein Jahr. Um das hochgenaue Höhenmodell der Erde zu erstellen, werden zwei globale Abdeckungen benötigt.
- » Die erwartete Datenmenge liegt bei **1,5 Petabyte (1 Petabyte = 1.000.000 Gigabyte)** – das entspricht dem Speichervermögen von fast **200.000 DVDs**. Die kürzeste Aufnahmezeit der einzelnen Radaraufnahmen mit beiden Satelliten beträgt fünf Sekunden, die längste 400 Sekunden. **Zehnmal pro Sekunde** synchronisieren sich die zwei Satelliten während einer Radaraufnahme miteinander.
- » Mindestens zweimal am Tag wird das Team des Mission Planning Systems (MPS) Kommandodateien für jeden der beiden Satelliten erstellen. Eine Kommandodatei kann dabei bis zu **1.500 Einzelkommandos** enthalten. Diese Kommandos entstehen aus der Modellierung von bis zu 10.000 Einzelaktivitäten pro Tag, 300 Ressourcen und 280 Abhängigkeiten (Constraints) pro Aktivität. Über die Laufzeit der Mission von etwa drei Jahren wird MPS somit insgesamt bis zu 6.500.000 Einzel-Kommandos erstellen, die aus über **zehn Millionen Einzelaktivitäten** und **hundert Millionen Ressource-Update-Schritten** entstehen.
- » Um die Satelliten zu kalibrieren, waren die Wissenschaftler an **86 Standorten** tätig. Das Ergebnis: 40 aktive und passive Kalibrierziele (und von der ungewohnten Freiluftarbeit sieben nachgewiesene Sonnenbrände).
- » Allein von seinem Start am 21. Juni bis zum 16. Juli 2010 flog TanDEM-X, der mit etwa sieben Kilometern in der Sekunde unterwegs ist, 385 Erdumkreisungen und legte somit **15,4 Millionen Kilometer in 25 Tagen** zurück.
- » Während der kritischen „Launch and early orbit phase“ nach dem Start verbrauchte TanDEM-X eine Energie von **66 Kilowattstunden**. (Das Missionsteam hingegen verbrauchte unzählige Tassen Kaffee und sah nur etwa acht Stunden Tageslicht in dieser ersten Woche.)

Die Erde – ein Unikat?

Keine Frage, die Erde ist außergewöhnlich. Ein einzigartiger Planet – in unserem Sonnensystem. Sie beherbergt, wie es der Nobelpreisträger Ilya Prigogine zum Ausdruck brachte, die höchste Organisationsform von Materie: Leben. Angesichts der großen Zahl von Sternen im Universum muss man jedoch vermuten, dass es belebte erdähnliche Planeten mehrfach gibt. Wie entsteht solch ein planetarer Körper und was sind die Bedingungen für seine spezielle, das Leben fördernde Entwicklung? Und wie wirkt das Leben auf die Entwicklung des Planeten zurück? Schafft sich das Leben eventuell die Bedingungen, unter denen es sich optimal fortentwickeln kann? Diesen Fragen stellt sich die aus dem Impuls- und Vernetzungsfonds der Helmholtz-Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren geförderte Allianz „Planetenentwicklung und Leben“. Sie vereint etwa 100 in- und ausländische Wissenschaftler.

In der Allianz „Planetenentwicklung und Leben“ der Helmholtz-Gemeinschaft suchen die Wissenschaftler nach Antworten auf die Frage aller Fragen

Eine Betrachtung von Prof. Dr. Tilman Spohn

Zunächst also: Wie hat sich die Erde zu dem Planeten entwickelt, den wir heute bevölkern und auf dem es Leben in dieser Vielfalt gibt? Eine Frage, die nicht einfach zu beantworten ist angesichts eines Planeten, dessen charakteristisches Merkmal der permanente Wandel der Oberfläche ist, hervorgerufen durch die dynamischen Prozesse der Plattentektonik. Bei Mond und Mars ist das anders: Deren Oberflächen wurden weniger dynamisch überprägt. Doch die Plattentektonik könnte auch eine Voraussetzung für die Entwicklung des Lebens sein. Sie hat Gebirge und Ozeanbecken geformt und damit Biodiversität ermöglicht: Durch die Plattentektonik entstanden thermisch stabile Bedingungen auf der Erde, wurde der Kohlendioxidgehalt in der Atmosphäre geregelt und schließlich der großräumige Transport von Nahrungsmitteln für primitive Lebensformen bewerkstelligt. Darüber hinaus kühlt die Plattentektonik das Erdinnere effektiv und ermöglicht somit die langfristige Existenz des Magnetfelds. Das Magnetfeld wiederum schützt die Erde vor den lebensfeindlichen Teilchen des Sonnenwinds sowie der kosmischen Strahlung und trägt zur Stabilität der Atmosphäre bei.

Beobachten wir nicht richtig, oder verstehen wir etwas falsch?

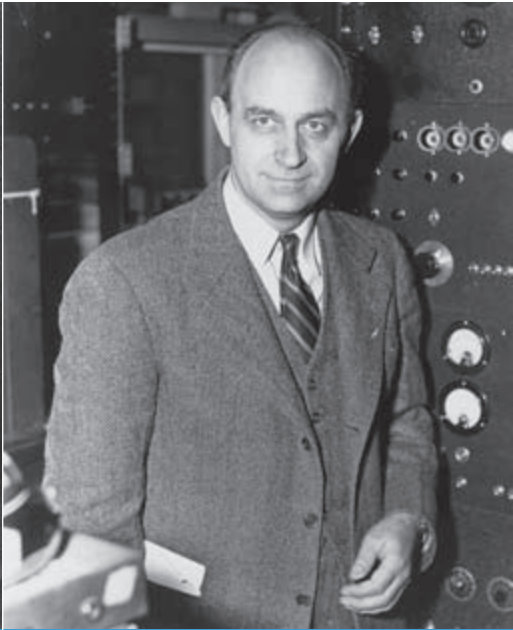
Die Raumfahrt betreibenden Nationen haben sich u. a. die Suche nach außerirdischem Leben auf dem Mars zur Aufgabe gemacht. Missionen wie ExoMars und Mars Science Laboratory, die in diesem Jahrzehnt auf die Reise zu unserem Nachbarplaneten gesandt werden, sind wichtige Meilensteine. Eine Mission mit Probenrückführung könnte den Durchbruch bringen. Vorausgesetzt, wir wüssten, wo und wie geeignete Proben zu nehmen wären. Weil die Suche nach Lebensspuren außerordentlich schwierig und auch teuer ist, bedarf es der koordinierten Arbeit aller internationalen Partner. Sollte die Suche nach Leben gelingen, hätte dies enorme Bedeutung – über die Planetenforschung,

Das System Erde-Mond aus der Perspektive der Apollo-Astronauten bei ihrer Umrundung des Erdtrabanten – zwei extreme Welten in unmittelbarer kosmischer Nachbarschaft

©NASA



Giordano Bruno: 1548 – 1600, italienischer Priester und Philosoph, Tod auf dem Scheiterhaufen

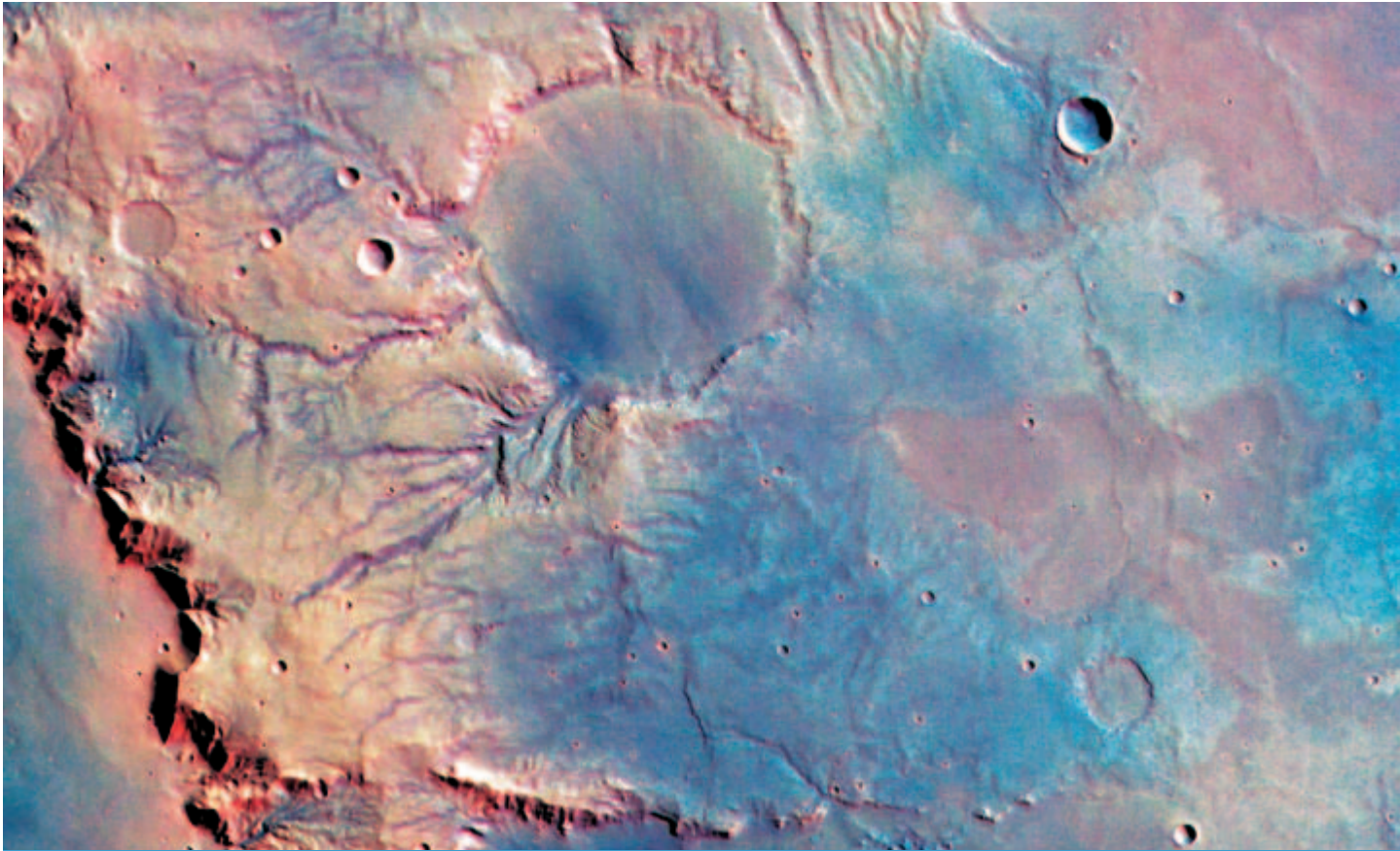


Enrico Fermi: 1901 – 1954, italienischer Kernphysiker, Nobelpreis 1938

Die Helmholtz-Allianz „Planetenentwicklung und Leben“ ist ein Zusammenschluss von etwa 100 in- und ausländischen Wissenschaftlern. Im April 2008 nahm sie ihre Arbeit auf. Sie ist interdisziplinär angelegt und in sechs Themenbereiche gegliedert:

- › Wechselwirkungen Biosphäre-Atmosphäre-Oberfläche und Entwicklung der Atmosphäre
- › Wechselwirkungen Planeteninneres-Atmosphäre; Magnetfeld und Entwicklung der Planeten
- › Asteroiden- und Meteoreinschläge und die Entwicklung der Planeten
- › Geologischer Kontext von Leben
- › Wasser und Leben unter Extrembedingungen
- › Werkzeuge und Strategien der Erkundung der Habitabilität von Planeten

Jeder dieser Themenkomplexe wird von einem fachlich ausgewiesenen Wissenschaftler aus dem DLR koordiniert. Insgesamt kommt gut die Hälfte der beteiligten Wissenschaftler aus dem DLR bzw. aus dem Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung. Außer dem federführenden Institut für Planetenforschung sind vom DLR die Institute für Weltraummedizin, für Robotik und Mechatronik, für Hochfrequenz- und Radartechnologie und für Raumfahrtsysteme beteiligt. Hinzu kommen Universitätswissenschaftler, hauptsächlich aus Berlin sowie aus dem Ausland, aus Max-Planck-Instituten und ausländischen Forschungsinstituten in Österreich, Frankreich, England und den USA.



Verzweigte, „dendritische“ Talsysteme deuten auf Oberflächenwasser auf dem Mars hin. Man vermutet, dass es in der Frühzeit des Planeten einen Wasserkreislauf gab, bei dem es aus einer dichteren, wärmeren Atmosphäre regnete. (Falschfarbendarstellung)

ja über die Naturwissenschaften hinaus! Der Fund würde die Kopernikanischen und Darwinschen Revolutionen vollenden und unsere irdische Existenz in einen größeren Zusammenhang stellen. Die Erde wäre nicht nur nicht mehr der Mittelpunkt des astronomischen Universums, sie wäre auch nicht mehr der alleinige Mittelpunkt unseres kulturellen Universums. Giordano Bruno war gegen Ende des 16. Jahrhunderts einer der ersten, die von außerirdischem Leben sprachen – für seine Ideen musste er mit dem Tod auf dem Scheiterhaufen bezahlen –, und Enrico Fermi (1901-1954) empfand es als paradox, dass wir bei der großen Zahl von Sternen im Universum noch keine Spuren intelligenten außerirdischen Lebens gefunden haben.

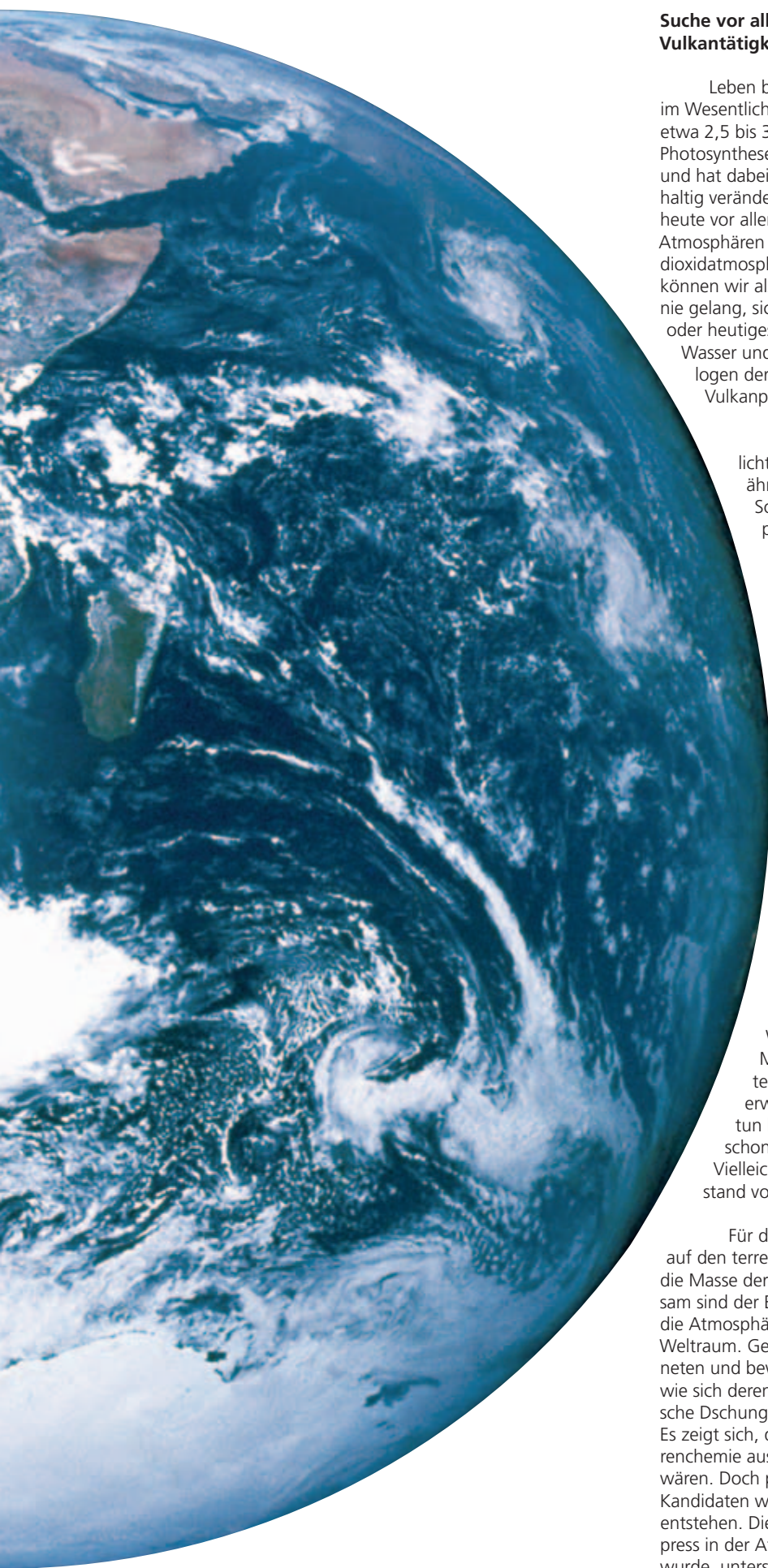
Noch weiter reichend als die Suche nach Leben auf dem Mars ist die Suche nach einer zweiten Erde. Wie aber würden wir, die wir auf lange Zeit nicht damit rechnen dürfen, nachsehen zu können, Leben dort entdecken? Gibt es die eindeutige Signatur, das letztendlich überzeugende Beweisstück?

Kohlenstoffverbindungen und Wasser als Grundbausteine

Als Ausgangspunkt der Forschungsarbeiten betrachten wir Leben, welches dem auf der Erde chemisch ähnelt. Als Grundbausteine nehmen wir also Kohlenstoffverbindungen an und als Lösungsmittel Wasser. Andere Lebensformen sind denkbar, basierend etwa auf Silizium und Kohlenwasserstoffen, stehen aber vorerst nicht im Mittelpunkt der Überlegungen. Mit diesem Postulat lassen sich physikalische Bedingungen für die Habitabilität, d. h. für das Potenzial eines Planeten, „belebbar“ zu sein, ableiten. So sollten die Bedingungen auf der Oberfläche eines Planeten oder in eventuellen ökologischen Nischen so sein, dass Was-

ser aufgrund des herrschenden Drucks und der Temperaturen stabil ist. Es konnte gezeigt werden, dass sich Mikroben sogar bei Temperaturen bis zu -20°C reproduzieren können und dass Wasser unter Marsbedingungen, also bei etwa nur einem Hundertfüngstel des irdischen Atmosphärendrucks, bis etwa -40°C flüssig sein kann. Dies ist dann der Fall, wenn entsprechende Salze den Schmelzpunkt herabsetzen oder Bakterien schmelzpunktniedrigend wirken. Es konnte weiter belegt werden, dass Biofilme – das sind Matten oder Filme bestehend aus Mikroben – Wasser auch aus geringster Luftfeuchtigkeit ziehen können. Sogar eine Nahrungskette für hypothetische Marsmikroben wurde erarbeitet. Dies lässt vermuten, dass auf dem Mars auch heute noch Habitate für Mikroorganismen möglich wären! Am Tag könnten sie Wasser zu sich nehmen und in der Nacht bei tiefen Temperaturen ruhen.

Wo könnten auf dem Mars heutige oder frühere Habitate zu finden sein? Modellrechnungen unserer Allianz zeigen, dass der Planet früher eine dichte Atmosphäre mit moderaten Lebensbedingungen gehabt haben könnte. Aber wie wurde die Atmosphäre dann bis zum heutigen Zustand ausgedünnt? Dies bleibt ein Rätsel! Die fotogeologische Auswertung von Bildern der Marsoberfläche, die mit der vom DLR betriebenen hochauflösenden Stereokamera HRSC von der Sonde Mars Express aufgenommen wurden, spricht eine andere Sprache. Zwar belegt auch sie, dass es Seen und Flüsse auf dem frühen Mars gegeben hat. Aber die geologischen Evidenzen sprechen eher für ein weitgehend arides, also wüstenähnliches Klima mit geringen Niederschlagsmengen. Der damalige Mars ähnelte demnach eher den trockenen Kaltgebieten der heutigen Erde als den gemäßigten Zonen.



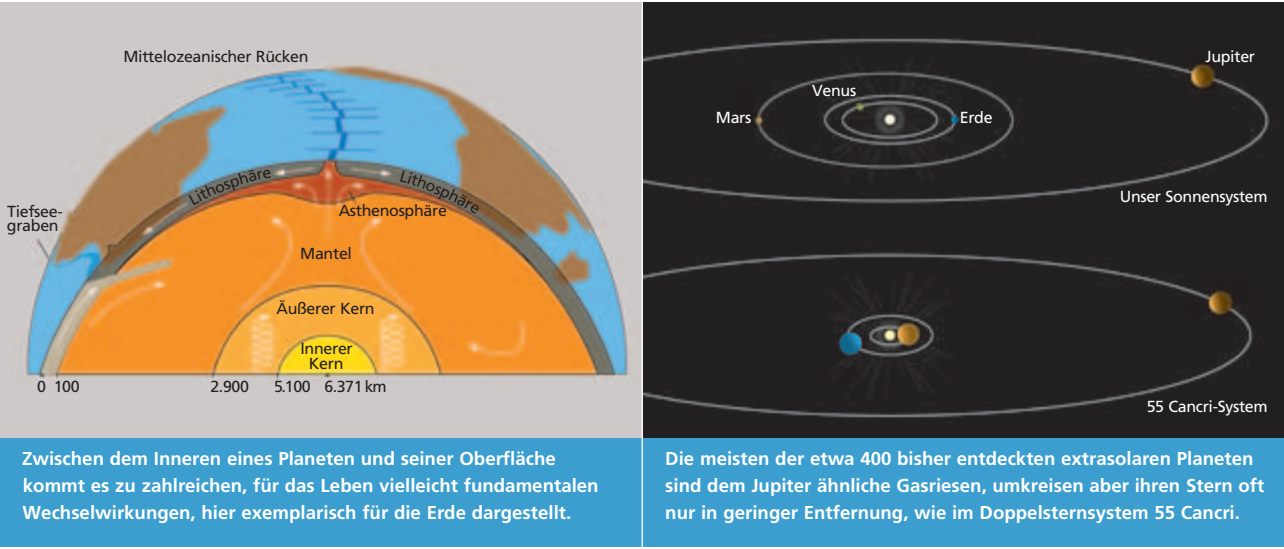
Suche vor allem in Marsgebieten mit Wassereis und Vulkantätigkeit

Leben benötigt Energie. Das Leben der Erde bezieht diese im Wesentlichen von der Sonne. Dies war nicht immer so! Vor etwa 2,5 bis 3 Milliarden Jahren „erfanden“ Lebewesen die Photosynthese. Danach ist die Biomasse enorm angewachsen und hat dabei die Zusammensetzung der Erdatmosphäre nachhaltig verändert. Statt von Kohlendioxid ist unsere Atmosphäre heute vor allem von Sauerstoff und Stickstoff charakterisiert. Die Atmosphären der Venus und des Mars sind heute noch Kohlendioxidatmosphären. Die Zusammensetzung der Marsatmosphäre können wir als Indiz nehmen, dass es dort der Photosynthese nie gelang, sich entscheidend durchzusetzen. Wir sollten fossiles oder heutiges Leben auf dem Mars daher dort suchen, wo Wasser und vulkanische Intrusionen zu finden sind. Den Geologen der Allianz gelang es, solche Gebiete in der Nähe der Vulkanprovinzen Tharsis und Elysium zu identifizieren.

Wie aber entsteht ein Planet, der Leben ermöglicht? Modellstudien der Allianz zur Entstehung erdähnlicher Planeten in der habitablen Zone unseres Sonnensystems zeigen, dass die Existenz der Riesenplaneten Jupiter und Saturn eine bedeutende Rolle spielt. Die habitable Zone erstreckt sich in unserem Sonnensystem zwischen Venus und Mars. Die Bildung der vergleichsweise kleinen terrestrischen Planeten hängt von der Stellung der beiden Gasriesen und der zeitlichen Entwicklung ihrer Bahnen ab. Dies hat noch nicht vollständig absehbare Bedeutung für die Frage, wie wahrscheinlich erdähnliche Planeten in anderen Sonnensystemen sind.

In den bisher entdeckten Planetensystemen um andere Sterne befinden sich Riesenplaneten dort, wo sich in unserem Sonnensystem die terrestrischen Planeten aufhalten, in Entfernungen von weniger als rund zwei astronomischen Einheiten (eine astronomische Einheit entspricht dem mittleren Abstand der Erde von der Sonne, das sind rund 150 Millionen Kilometer). Noch können wir die zweite Erde nicht entdecken. Dies sollte sich ändern, wenn das Weltraumteleskop Kepler der NASA seinen Betrieb aufnimmt. Auch die Europäische Weltraumorganisation ESA plant mit Plato eine Mission, die erdähnliche Planeten entdecken könnte. Dennoch sei die Frage erlaubt, ob das eingangs erwähnte Fermi-Paradoxon vielleicht etwas damit zu tun hat, dass die Weichen unseres Sonnensystems schon bei der Bildung außergewöhnlich gestellt wurden. Vielleicht sind erdähnliche Planeten im optimalen Abstand vom Mutterstern eher rar?

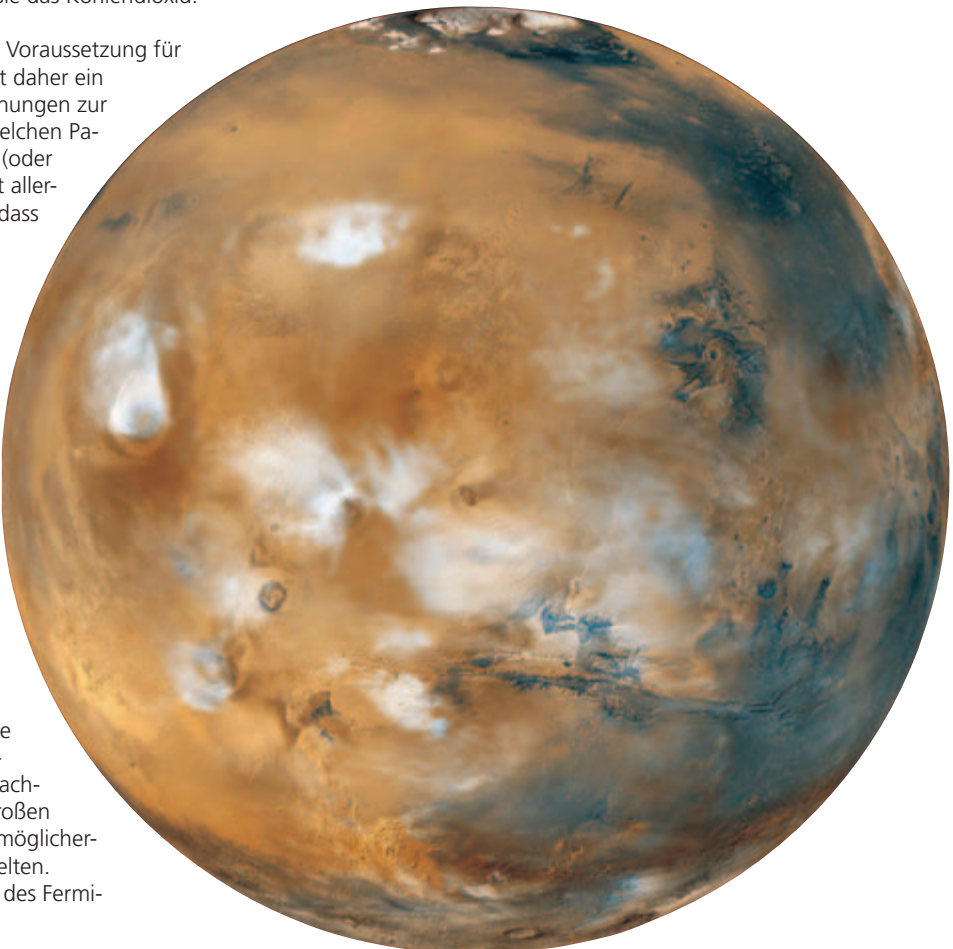
Für die Entwicklung lebensfreundlicher Bedingungen auf den terrestrischen Planeten spielen das Klima, Wasser und die Masse der Biosphäre entscheidende Rollen. Ähnlich bedeutsam sind der Eintrag von Gasen aus dem Inneren der Planeten in die Atmosphären, aber auch der Verlust von Gasen an den Weltraum. Generische Modelle von Wüstenplaneten, Ozeanplaneten und bewaldeten Dschungelplaneten werfen die Frage auf, wie sich deren Klimata entwickeln und wie etwa der hypothetische Dschungelplanet spektroskopisch entdeckt werden könnte. Es zeigt sich, dass die Modellplaneten aufgrund ihrer Atmosphärenchemie aus dem Weltraum spektroskopisch unterscheidbar wären. Doch potenzielle Biosignaturen gibt es noch nicht, denn Kandidaten wie Methan oder Ozon können auch abiologisch entstehen. Die jüngste Diskussion um Methan, das von Mars Express in der Atmosphäre über einigen Vulkanprovinzen entdeckt wurde, unterstreicht dies.



Austauschprozesse mit dem Planeteninneren spielen eine Schlüsselrolle

Die Atmosphären der Planeten sind mit dem Planeteninneren verknüpft. Der Austausch erfolgt von innen nach außen durch vulkanische Gase, die im langperiodischen Kohlenstoffzyklus eine wichtige Rolle spielen. Auf der Erde erlaubt die Plattentektonik eine Rückkopplung, indem in Sedimentgestein gebundenes Kohlendioxid in das Erdinnere zurückgeführt werden kann. Dies geschieht in den sogenannten Subduktionszonen, wo die tektonischen Platten, aus denen unsere Erdoberfläche besteht, wie auf einem gigantischen Förderband in das Innere abtauchen. Mikrobielle Lebewesen spielen dabei eine katalytische Rolle: In den Sedimentbecken binden sie das Kohlendioxid.

Plattentektonik wird vielfach auch als Voraussetzung für höher entwickeltes Leben angesehen. Sie ist daher ein wichtiges Thema in der Allianz. Modellrechnungen zur Stabilität von Plattentektonik zeigen, von welchen Parametern sie abhängt. Inwieweit die Masse (oder Größe) der Planeten eine Bedeutung hat, ist allerdings noch nicht klar. Vielleicht ist es ja so, dass die Erde genau die optimalen Proportionen hat? Auch ein planetares Magnetfeld scheint für höher entwickeltes Leben wichtig zu sein. Klar ist, dass die Plattentektonik für ein stabiles Magnetfeld sorgen kann. Aber auch hier ist die Frage noch nicht abschließend beantwortet, welche Rolle die Masse des Planeten, vermittelt über den Druck im Inneren, spielt. Und wenn man noch bedenkt, dass der Mond die Rotationsachse der Erde gegenüber Taumelbewegungen stabilisiert und damit auch Garant für gemäßigte Klimazonen ist, dann könnten die Hürden für eine zweite Erde hoch gelegen haben: Jupiterähnliche Planeten müssten die habitable Zone freigeräumt haben, so dass diese lebensfreundliche Zone überhaupt entstehen konnte. Die Größe der Erde müsste Plattentektonik und Magnetfeld 'erlaubt' haben und die Bedingungen beim Wachsen zu einem Planeten müssten ihr einen großen Mond beschert haben. Primitives Leben ist möglicherweise weiter verbreitet, entwickeltes eher selten. Vielleicht liegt hier ein Schlüssel zur Lösung des Fermi-Paradoxons.



Autor:
Prof. Dr. Tilman Spohn ist Diplom-Geophysiker und leitet das Institut für Planetenforschung des DLR in Berlin-Adlershof. Er führt die auf fünf Jahre angelegte interdisziplinäre Helmholtz-Allianz Planetenentwicklung Leben an und lehrt an der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster physikalische Planetologie.

Weitere Informationen:
www.DLR.de/PF

Rendezvous mit (21) Lutetia

Betrachtung von Ulrich Köhler und Ekkehard Kührt

Trotz aller Routine in der Raumfahrt – es gibt sie noch, die Momente, in denen sich auch bei lang gedienten Ingenieuren, Wissenschaftlern und Raumfahrtmanagern der Puls beschleunigt. Ein solcher Anlass war der Vorbeiflug der ESA-Raumsonde Rosetta am Asteroiden (21) Lutetia am 10. Juli 2010. Denn obgleich alle bisherigen Manöver des europäischen Kometenspähers auf seinem weiten Weg zum endgültigen Ziel, dem Kometen Churyumov-Gerasimenko, immer wie geplant abliefen: Der Hauch des Ungewissens umgibt ein solches Unternehmen noch immer. Zumal es sich bei (21) Lutetia um einen nur etwas mehr als 100 Kilometer großen Asteroiden handelt, der zum Zeitpunkt des Vorbeifluges 455 Millionen Kilometer von der Erde entfernt war.

Doch wie erhofft und erwartet absolvierte Rosetta ein Präzisions-Rendezvous. Selbstverständlich war nach dem Empfang der ersten Daten von Rosetta im ESOC, dem ESA-Kontrollzentrum in Darmstadt, die Freude groß. Und der Puls der ESA-Operateure für Rosetta war schnell wieder „nominal“, wie in der Raumfahrsprache gerne gesagt wird. Dafür schnellte nun der Herzschlag bei den Forschern in die Höhe. Rosetta übertrug eine Fülle an wertvollen Bildern und Messergebnissen zur Erde. Wissenschaftler des DLR sind an zahlreichen Experimenten auf Rosetta maßgeblich beteiligt. Deren Durchführung war schließlich nicht gerade trivial: Der Kometenspäher näherte sich dem Planetoiden mit einer Geschwindigkeit von 15 Kilometern pro Sekunde und machte zunächst zahlreiche Aufnahmen der von der Sonne beschienenen Seite (21) Lutetias. Dabei kam Rosetta dem Asteroiden um exakt 17:45 MESZ bis auf 3.162 Kilometer nahe. Die Sonde raste über den Nordpol und richtete anschließend einen Blick zurück auf den unförmigen Gesteinsbrocken. Während des Vorbeifluges wurde die Sonde gedreht, sodass die Instrumente optimal auf (21) Lutetia ausgerichtet waren.

Neben der wissenschaftlichen Ausbeute an (21) Lutetia, einem Körper, der viel über die früheste Zeit des Sonnensystems preiszugeben verspricht, war dies auch der letzte Praxistest für die Experimente vor der Ankunft am Kometen Churyumov-Gerasimenko im Jahre 2014. Auch das DLR-Nutzerzentrum für Weltraumexperimente (Microgravity User Support Center, MUSC), das für die Landeeinheit Philae verantwortlich ist, nutzte die Gelegenheit zu Experimenten und Tests. Drei Instrumente am Lander waren in Betrieb, um ein mögliches Magnetfeld beziehungsweise eine Exosphäre um den Asteroiden nachzuweisen.

Die gestochen scharfen Bilder der OSIRIS-Kamera, die mit Unterstützung der DLR-Raumfahrtagentur vom Max-Planck-Institut für Sonnensystemforschung gebaut wurde, zeigen einen von Einschlagskratern übersäten Kleinplaneten, was auf eine Milliarden Jahre alte Oberfläche schließen lässt. In seiner größten Ausdehnung ist (21) Lutetia etwa 130 Kilometer lang; die genauen Achsenlängen müssen noch bestimmt werden, auch die Rotationseigenschaften sind noch nicht geklärt. Einige der Krater haben Durchmesser von ein paar Dutzend Kilometern: Die Einschläge, die zu solch großen Kratern führten, dürften den Asteroiden beinahe zertrümmert haben. Auf der Oberfläche von (21) Lutetia sind bis zu 60 Meter kleine Details zu erkennen, so zum Beispiel wohnblockgroße Gesteinsbrocken auf einem Kraterhang links unten im Bild. Unterhalb dieses Kraters sieht man Riefen und lineare Strukturen auf der Oberfläche, ähnlich wie auf dem Marsmond Phobos – allerdings hat man auch hier noch keine endgültige Erklärung dafür gefunden, wie die Furchen entstanden sein könnten.

Die Auswertung der Experimente wird noch Monate dauern. Am Ende soll dann auch eine der wichtigsten Fragen geklärt sein: Ist (21) Lutetia ein kohlenstoffreicher, sogenannter C-Typ-Asteroid, wie jüngere Spektraluntersuchungen mit Teleskopen vermuten lassen – oder doch ein eisenreicher M-Typ, also vielleicht ein Kernrest eines einst viel größeren und dann durch eine Kollision zerstörten Asteroiden? Beantworten könnten dies die Messungen mit dem Spektrometer VIRTIS, das von der italienischen Raumfahrtagentur ASI und dem DLR entwickelt wurde. Mit VIRTIS lassen sich Aussagen zur Mineralogie der (21) Lutetia-Oberfläche treffen.

Autoren:

Ulrich Köhler ist Planetengeologe und am DLR-Institut für Planetenforschung für die Öffentlichkeitsarbeit zuständig. Dr. Ekkehard Kührt leitet die Abteilung Asteroiden und Kometen am DLR-Institut für Planetenforschung und koordiniert die wissenschaftlichen Beteiligungen des DLR an der Mission Rosetta.

Weitere Informationen:

www.DLR.de/PF

Der Asteroid (21) Lutetia, aufgenommen zum Zeitpunkt der größten Annäherung der Weltraumsonde Rosetta aus einer Entfernung von knapp 3.200 Kilometern. Die kleinsten sichtbaren Details haben eine Größe von etwa 60 Metern.

Regionalmeldungen



Neu in Braunschweig: Simulatorzentrum für die Luftfahrtforschung entsteht

Im DLR Braunschweig hat der Bau eines Simulatorzentrums für die Luftfahrtforschung begonnen. Als Bindeglied zwischen den Flugerprobungsträgern des DLR und den Systemlaboren der Flugsystemtechnik ermöglicht es Luftfahrtforschung in neuer Qualität. Die in Europa einmalige Forschungsinfrastruktur soll Mitte 2011 fertiggestellt sein. Mit der Entwicklung von Simulatorkomponenten und der sehr komplexen Software wird bereits in diesem Jahr begonnen. Die Cockpits der Simulatoren werden im jetzigen Gebäude aufgebaut und an bereits bestehende Systeme angekoppelt.

Das Simulatorzentrum führt die Anwendungsforschung des DLR und die Ausbildung an der TU Braunschweig zusammen. In ihm werden vor allem Flugversuche der fliegenden Forschungsplattformen ATRA (Advanced Technology Research Aircraft), einem modifizierten Airbus A320, und des FHS (Flying Helicopter Simulator), einem ebenfalls modifizierten Eurocopter EC135, vorbereitet. Der modulare Aufbau befähigt zur parallelen Forschung an Hubschraubern und Flugzeugen. Kernthema des Zentrums ist die Erforschung der dynamischen Interaktion zwischen Mensch und Maschine. Doch auch gänzlich neue Forschungsfelder wie die Erprobung innovativer Flugzeugkonfigurationen (zum Beispiel Nurflügler) oder die Bewertung der Qualität des Simulatortrainings für die Piloten können durch das neue Zentrum abgedeckt werden. Die Investition für das Gebäude mit 1.200 Quadratmeter Nutzfläche beläuft sich auf etwa neun Millionen Euro aus dem Budget der Helmholtz-Gemeinschaft plus einer weiteren Million, die über die Einrichtung Campus Forschungsflughafen von der TU Braunschweig getragen wird.

www.DLR.de/Braunschweig

DLR Stuttgart Gewinner beim Ideenwettbewerb für den Automobilsommer 2011

Vom Automobil der Zukunft bis hin zum Raumfahrzeug für den Wiedereintritt in die Erdatmosphäre – am Tag der offenen Tür 2011 wird das DLR in Stuttgart seine Forschung zur zukünftigen Mobilität der Öffentlichkeit vorstellen. Die Veranstaltungskonzeption erhielt schon im Vorfeld eine Auszeichnung beim Ideenwettbewerb zum Automobilsommer 2011 des Landes Baden-Württemberg. Sie ist damit eine der zehn landesweiten Gewinner-Ideen. Insgesamt waren 200 Konzepte eingereicht worden.

www.DLR.de/Stuttgart

Umweltfreundlich, sicher, komfortabel und finanzierbar soll es sein – das Auto der Zukunft. Die Wissenschaftler des DLR-Instituts für Fahrzeugkonzepte forschen daran. Auf dem Weg zum emissionsarmen Fahrzeug für die individuelle Mobilität vereint das Stuttgarter Institut gleich mehrere System-Ansätze, von den alternativen Antrieben bis hin zum Fahrzeugleichtbau.



Anlässlich der Grundsteinlegung am 24. Juni 2010 erläuterte der Regionalleiter des Systemhauses Technik West, Markus Boje (r.), wozu diese spezielle DLR-Einrichtung in der Lage ist

Neues Domizil für das DLR-Systemhaus Technik in Köln

Das Systemhaus Technik des DLR in Köln bekommt ein neues Gebäude. Ab Ende 2011 wird es gemeinsam mit dem DLR-Bau-management genutzt werden können. Die Ingenieure und Techniker aus dem Systemhaus sind immer dann gefragt, wenn aus einer Idee quasi über Nacht ein neues Bauteil entstehen soll. Innerhalb nur eines Tages können beispielsweise neue Triebwerkschaufeln gezeichnet und gefertigt werden. Diese Kompetenz wird durch das Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) aus Mitteln des Konjunkturpakets II mit 4,9 Millionen Euro gefördert. Das neue Gebäude ermöglicht durch das räumliche Zusammenwachsen von Engineering und Fertigung kürzere Entwicklungszeiten für den wissenschaftlichen Gerätebau.

www.DLR.de/Koeln

Auf den Spuren der Windmacher: Schüler im stillgelegten 3-Meter-Windkanal Göttingen



Jubiläum im Schülerlabor 30.000 Jugendliche experimentierten schon in Göttingen

Das DLR_School_Lab Göttingen, eines der ersten und erfolgreichsten Schülerlabore Deutschlands, beging sein zehnjähriges Bestehen. Mehr als 30.000 Schülerinnen und Schüler experimentierten dort zu Themen aus Luft- und Raumfahrt, Energie und Verkehr. In allen nach dem Göttinger Vorbild entstandenen DLR_School_Labs konnten sich sogar 100.000 Kinder und Jugendliche von Forschung faszinieren lassen. „Ganz offensichtlich haben wir mit den DLR_School_Labs den Bedarf der Schulen getroffen: theoretischen naturwissenschaftlichen Unterricht auf spannende Weise in die Praxis umzusetzen“, sagte der DLR-Vorstandsvorsitzende Prof. Dr. Johann-Dietrich Wörner anlässlich des Jubiläums. Ganz verschiedene Experimente werden angeboten: Neben dem Windkanal sowie einem Hubschraubermodell gibt es auch einen Mini-Fallturm und einen „Schreikasten“ zum Testen der Lautstärke der eigenen Stimme.

www.DLR.de/Goettingen
www.DLR.de/schoollab

MULTIMEDIA-PORTAL

www.DLR.de/media

Das Medien-Portal des DLR enthält Fotos, Webcasts, Audios, Animationen und Dokumente zu den DLR-Forschungsthemen Luftfahrt, Raumfahrt, Energie und Verkehr. Alle Medien sind online recherchierbar und stehen zum Download bereit.

JUBILÄUMSSEITE

www.DLR.de/stuttgart2011

Der DLR-Standort Stuttgart bereitet sich auf ein Jubiläum vor: Im Jahr 1961 bezogen die ersten Mitarbeiter des damaligen Forschungsinstituts für Physik der Strahlantriebe zwei Institutsgebäude im Pfaffenwaldring. Anlässlich des 50-jährigen Jubiläums veranstalten die fünf Stuttgarter DLR-Institute im Jahr 2011 Aktionswochen, einen Tag der offenen Tür und bieten Vorträge an.

MENSCHEN

www.DLR.de/Menschen

Ob Asteroidenforscher, Testpilot, Solarforscherin oder Auszubildender – alle sind sie kennenzulernen auf den DLR-Sonderseiten Menschen im DLR.

LOOKBOOK

www.DLR.de/Magazin

Das DLR Magazin online lesen – das Lookbook macht's möglich. Unbeschwertes Blättern, fast wie im echten Druckstück. Keine Bange vor bildschirmmüden Augen, eine Vergrößerungsfunktion ist eingebaut. Und wem's gefällt, der kann sich die Publikation nach Hause kommen lassen: Bestellung unter www.DLR.de/magazin-abo

ERDBEOBACHTUNG

www.DLR.de/eo

So nie gesehene Bilder unseres Heimatplaneten und Informationen über die wichtigsten Erdbeobachtungsprojekte, allen voran die aktuelle TanDEM-X-Mission. Bildgewaltig und faktenreich.

TANDEM-X-MISSIONSBLOG

www.DLR.de/blogs/tandemx

Stets auf dem Laufenden: DLR-Wissenschaftler berichten aktuell über den Missionsverlauf des deutschen Radarsatelliten und den Schichtbetrieb im Kontrollraum.

Innovationen ermöglichen, ...

... indem für außeruniversitäre Forschungseinrichtungen ein Werkzeug entwickelt und verbreitet wird, mit dem sich die Innovationsfähigkeit besser managen lässt – das ist das Ziel eines Verbundprojekts, welches die Rheinische Fachhochschule Köln (RFH) und das Technologiemarketing des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt, begleitet von der Firma Görgen & Köller GmbH, durchführen. Neben dem DLR als Mitglied der Helmholtz-Gemeinschaft werden auch die Max-Planck-Gesellschaft, die Fraunhofer-Gesellschaft und die Leibniz-Gemeinschaft einbezogen. Gefördert wird das noch bis Mitte 2012 laufende Projekt über den Fonds zur „Innovationsorientierung der Forschung“ (vormals „Strategiefonds“) des Bundesministeriums für Bildung und Forschung.

Besserer Weg zum Markt

Das DLR Magazin im Gespräch mit Dr. rer. nat. Ute Gerhards über das Projekt „Enabling Innovation“

Sie leiten das Projekt „Enabling Innovation“ – warum brauchen wir so ein Verbundprojekt?

Wie wichtig Innovationen für die Entwicklung von Wirtschaft und Gesellschaft sind, ist mittlerweile überall erkannt. In außeruniversitären Forschungseinrichtungen wie dem DLR entstehen zahlreiche Forschungsergebnisse, Technologien und Wissen im Allgemeinen. Trotz aller bisherigen Erfolge, diese Inventionen in neue und am Wirtschaftsmarkt erfolgreiche Produkte und Dienstleistungen zu überführen, sind das vorhandene Transferpotenzial und somit auch das Innovationspotenzial in der deutschen Forschungslandschaft bei Weitem noch nicht ausgeschöpft.

Wovon hängt der Erfolg einer Innovation ab?

Zunächst von den Merkmalen der Innovation selbst. Besonders wichtig hierbei: Hat die Technologie technische und wirtschaftliche Wettbewerbsvorteile gegenüber existierenden Problemlösungen? Allerdings entscheiden auch Innovationsziele, -strategie, -kultur, -prozesse und -portfolio der Forschungseinrichtung bzw. des Instituts darüber, ob aus einer Invention eine Innovation und damit ein Markterfolg werden kann.

Und hier setzt „Enabling Innovation“ an?

Genau. Wir identifizieren und gewichten zunächst die Eigenschaften und Fähigkeiten, über die Forschungseinrichtungen verfügen sollten, wenn sie erfolgreich Innovationen initiieren und gemeinsam mit der Industrie entwickeln möchten. Dann wird ein Fragebogen zu den Kriterien entwickelt, welche den Verwertungserfolg von Forschungseinrichtungen beeinflussen. Beispielsweise: Sind geeignete organisatorische Strukturen vorhanden? Stehen genug materielle und personelle Ressourcen zur Verfügung? Bestehen Kooperationen mit Industriepartnern? Die Auswertung der Antworten liefert dann Aussagen über vorhan-

dene Fähigkeiten und noch weiterzuentwickelnde Potenziale. Der Fragebogen wird momentan in ausgewählten Instituten des DLR und anderen außeruniversitären Forschungseinrichtungen getestet. Letztlich wollen wir ein theoretisch und empirisch fundiertes Werkzeug erstellen, mit dem sich die Innovationsfähigkeit besser managen lässt.

Was meinen Sie konkret mit „besser managen“?

Außeruniversitäre Forschungseinrichtungen bzw. -institute können mit diesem Werkzeug zukünftig ihre eigene Innovationsfähigkeit einschätzen, steuern und Verbesserungsmöglichkeiten ermitteln. Das geschieht dann in Form eines moderierten Workshops oder auch durch ein institutsbezogenes Innovationsfähigkeitsprojekt. Leitmotiv von „Enabling Innovation“ ist immer, Forschungsergebnissen den Weg zu erfolgreichen Produkten im Markt zu ebnet.

Dr. rer. nat. Ute Gerhards ist beim DLR-Technologiemarketing im Bereich Markterschließung tätig, sie leitet das Projekt und koordiniert den Verbund „Enabling Innovation“



Weitere Informationen:
www.DLR.de/TM

Aufwind für die Promotion

Wie viele Promotionsanwärter werden mitmachen? Vielleicht 50 oder gar 60? Als das DLR_Graduate_Program im Juli 2009 an den Start ging, galt es abzuschätzen, wie groß das Echo auf dieses Angebot an die DLR-Doktorandinnen und Doktoranden sein würde. Und dann wurde die Teilnehmer-Liste lang und länger. Ein Jahr nach dem Start umfasste sie 175 Namen. Offenbar hat das Programm genau den Bedarf getroffen.

Ein Jahr DLR_Graduate_Program

Von Dr. Volker Kratzenberg-Annies, Dr. Uwe Bott, Anna Christina Günster

Das DLR_Graduate_Program vermittelt zahlreiche Kompetenzen, die man nicht immer an der Uni lernt, aber im beruflichen Kontext und in der Forschung benötigt. Im institutsübergreifenden Qualifizierungsprogramm stehen Management-, Methoden- und Sozialkompetenzen im Mittelpunkt – wie etwa Projektmanagement, Kommunikation oder auch Verhandlungsführung. Diese Schlüsselkompetenzen sollen der Karriere dienen, aber auch schon in der Promotionsphase selbst zur Anwendung kommen. Die didaktischen Methoden sind modern und interaktiv – wissenschaftliches Präsentieren etwa wird per Video-Training geübt.

Weniger „verschult“ als andere Doktorandenprogramme, ist das DLR_Graduate_Program ein maßgeschneidertes Angebot, das den Bedürfnissen der Promovierenden wie auch den DLR-Instituten dient – ein Bestandteil der bedarfsorientierten Personalentwicklung im DLR. Nicht abstraktes Wissen auf Vorrat, sondern die gezielte Bereicherung des individuellen Kompetenzprofils wird angestrebt. So werden Themen wie Projektmanagement mit konkretem Bezug zum jeweiligen Promotionsvorhaben behandelt. Bei jeder Veranstaltung können die Teilnehmerinnen und Teilnehmer vorab Erwartungen benennen, die einen Einfluss auf die Ausgestaltung des Seminars haben.

Das DLR_Graduate_Program ist ein „selbstlernendes Programm“. Auf systematische Qualitätssicherung und permanente Optimierung wird größter Wert gelegt: Die Teilnehmerinnen und Teilnehmer bewerten alle Workshops – und einige Monate später wird nachgefragt, wie sich die Inhalte in die Praxis umsetzen ließen. Das liefert Anhaltspunkte für die weitere Ausgestaltung und kontinuierliche Optimierung des Programms.

Schließlich fördert das DLR_Graduate_Program die Vernetzung der Teilnehmer untereinander. Durch Doktorandensymposien, andere Networking-Veranstaltungen und nicht zuletzt durch die freie Auswahlmöglichkeit der Seminare lernen Doktoranden in jeder Veranstaltung neue Kolleginnen und Kollegen kennen. Auch die Doktorandenseminare in den Instituten ermöglichen den Austausch über das eigene Forschungsgebiet hinaus.

Als „selbstlernendes Programm“ wird sich die Maßnahme zur Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses auch im zweiten Jahr fortentwickeln. Weitere Anmeldungen liegen bereits vor ...

Autoren:

Dr. Volker Kratzenberg-Annies, Dr. Uwe Bott und Anna Christina Günster sind mit Konzeption und Durchführung des DLR_Graduate_Program betraut.



Joachim Steinmetz,
Simulations- und Softwaretechnik

„Mein Professor, das DLR_Graduate_Program und meine Familie! Das sind meine drei Wegbegleiter zum Ziel.“



Karola Schulz,
Institut für Werkstoff-Forschung

„Besonders gefällt mir die Vielfalt der Seminare des DLR_Graduate_Program. Sie ergänzen das wissenschaftliche Arbeiten in vielerlei Hinsicht. So lernt man, seine Ergebnisse vor internationalem Publikum zu präsentieren und zu publizieren, aber auch die Herausforderungen der Promotion zu meistern.“



Octavio Ponce, Institut für Hochfrequenztechnik und Radarsysteme

„Das DLR_Graduate_Program hält ein interessantes Angebot verschiedener Seminare und Veranstaltungen bereit, diese sind im Laufe der Doktorarbeit sehr nützlich.“

„Ich unterstütze das DLR_Graduate_Program ohne Einschränkung und empfehle allen Doktoranden an unserem Institut die Teilnahme.“

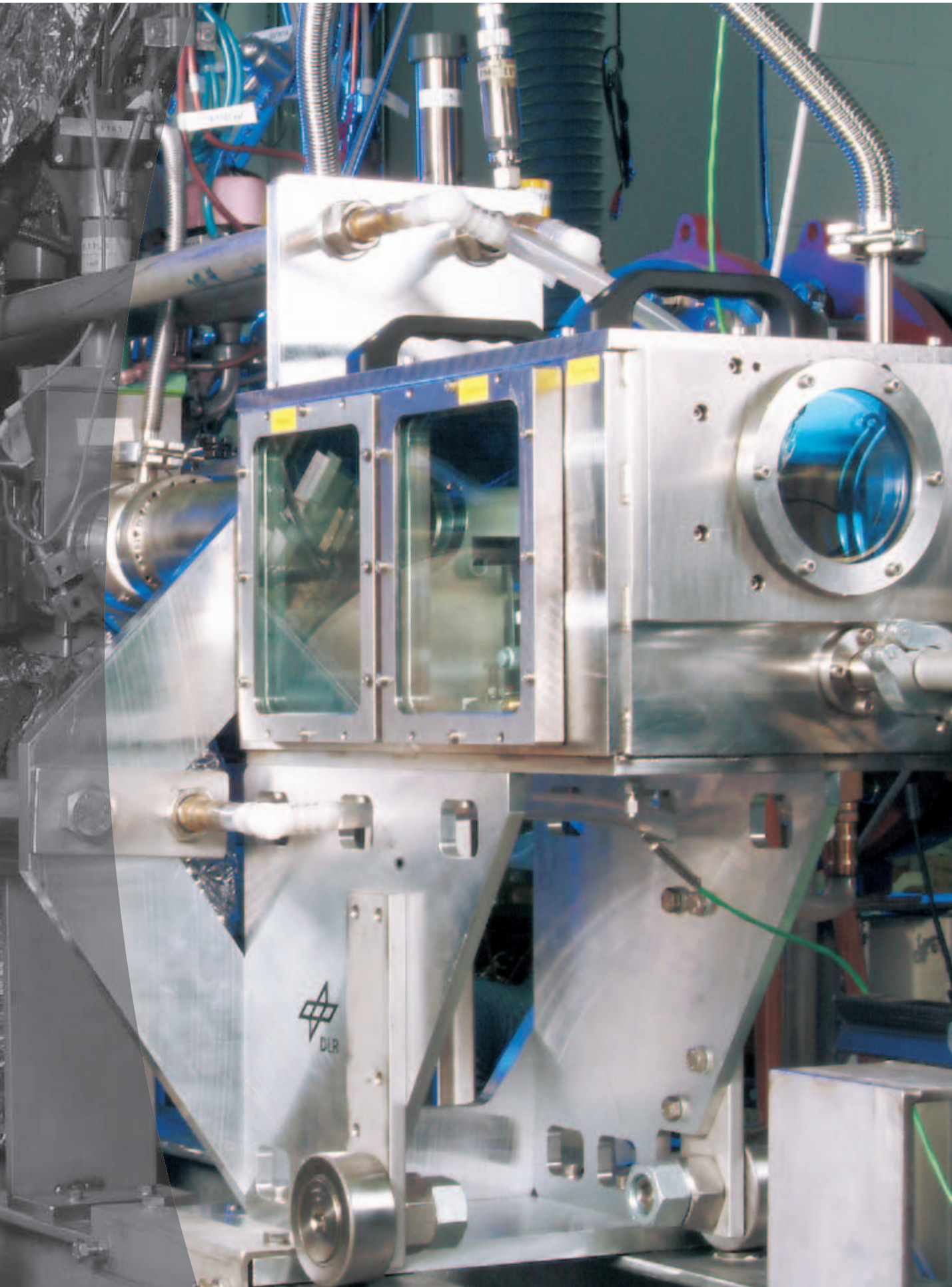
Prof. Dr.-Ing. Stefan Levedag, Direktor des Instituts für Flugsystemtechnik

„Neben der Wissenschaft auch die Persönlichkeit entwickeln – mit dem DLR_Graduate_Program haben wir die größten Chancen beim Wettbewerb um die besten Nachwuchskräfte.“

Prof. Dr. Heinz Voggenreiter, Direktor des Instituts für Werkstoff-Forschung und des Instituts für Bauweisen- und Konstruktionsforschung

„Auf Job-Messen und ähnlichen Veranstaltungen sind Studenten und Graduierte immer sehr an diesem Programm interessiert. Mit Blick auf die wissenschaftlichen Nachwuchskräfte ist das ein hervorragendes Instrument für unser Personalmarketing.“

Christian Jansen, Leiter Zentrales Personalmarketing



Präzision mit Strahlkraft – der Laser

50 Jahre alt und immer wieder für Neues gut

Eine Betrachtung von Heiko Reuter, freier Luftfahrt- und Wirtschaftsjournalist in Köln

„Die technischen Inkarnationen kommen und gehen, aber das Laserprinzip hat sich in den vergangenen 50 Jahren als unendlich erfolgreich und auch noch weiter in die Zukunft weisend entpuppt.“

Wolfgang Sander, Präsident der Deutschen Physikalischen Gesellschaft

Dieser chemische Sauerstoff-Iodlaser bringt es auf eine Ausgangsleistung von 13 Kilowatt. Zum Vergleich: Das Trennen und Schweißen herkömmlicher Metallbauteile erfolgt mit Lasern im Leistungsbereich einiger weniger Kilowatt. Der Hochenergielaser steht im DLR Lampoldshausen.

Als im Frühsommer dieses Jahres die Vulkanaschewolke vermessen wurde, kamen fast selbstverständlich Lidar-Systeme zum Einsatz. Solche Light Detection and Ranging-Systeme senden Laserpulse aus und detektieren das aus der Atmosphäre zurückgestreute Licht. Ein halbes Jahrhundert nach seiner Erfindung ist der Laser aus Forschung, Industrie und Alltag kaum mehr wegzudenken. Auch in der Luft- und Raumfahrt sind Laser unverzichtbar. Seit vielen Jahren arbeitet das DLR in vielfältigen Projekten daran, Lasertechnologien weiterzuentwickeln, sei es zum Vermessen oder Schneiden, zum Transportieren von Informationen oder gar zum Antreiben von Raumfahrzeugen ...

Als der amerikanische Physiker Theodore Maiman am 16. Mai 1960 seine Erfindung der Öffentlichkeit vorstellte, stieß er zunächst auf Skepsis. Mit seinem selbst konstruierten Laser hatte der junge Wissenschaftler erstmals einen gebündelten und gerichteten Lichtstrahl erzeugt; als Lasermedium diente ihm ein Rubinkristall. Jenseits der Fachwelt erkannten nur wenige das Potenzial von Maimans Apparat. Doch schon einige Jahre später trat die Lasertechnologie einen phänomenalen Siegeszug um die ganze Welt an. Das US-Magazin Reader's Digest schwärmte damals gar vom „Light of hope“, dem „Licht der Hoffnung“.

Heute sind Laser aus Wissenschaft, Wirtschaft und selbst aus dem Alltag kaum mehr wegzudenken. Ihre Strahlen gehen durch Metall hindurch wie ein Messer durch Butter – passgenau schneiden sie Teile für die Industrie. In der Medizin führen Chirurgen mit Laser-Skalpellen hochpräzise Operationen aus. Laserstrahlen zerstören Nierensteine, entfernen Körperhaare und unliebsam gewordene Tattoos. Sie transportieren Telefongespräche und riesige Datenmengen, bringen im CD-Spieler die Musik zum Klingen. Laser-Drucker spucken Dokumente in höchster Qualität aus, Laser-Scanner an Supermarktkassen lesen im Handumdrehen Strichcodes ein. In der Luft- und Raumfahrt sind Laser ebenfalls unverzichtbar geworden. Nur ein Beispiel: Kein Verkehrsflugzeug geht heute ohne Laserkreisel für die Navigation in die Luft. – Der Laser, ein Alleskönner ...



Laser im Mess-Einsatz: Im Mai 2010 wurde die Aschewolke des isländischen Vulkans Eyjafjalla vermessen. Unter der Tragfläche des DLR-Forschungsflugzeugs Falcon 20E die Partikelmesstechnik. Das Lidar-System sendet Laserimpulse aus und erfasst das aus der Atmosphäre zurückgestreute Licht.



Die Laser-Freistrahlstrecke am DLR-Standort Lampoldshausen: Sie ist 130 Meter lang. DLR-Wissenschaftler analysieren und optimieren hier Eigenschaften und Fernwirkung von Laserstrahlen unter realen atmosphärischen Bedingungen.

Als eines der führenden deutschen Forschungszentren beschäftigt sich das DLR seit vielen Jahren mit dieser Zukunftstechnologie und ihren Anwendungsmöglichkeiten. DLR-Wissenschaftler arbeiten an neuen Laser-Verfahren zur Werkstoffveredelung ebenso wie an künftigen Methoden zur Energieversorgung von Satelliten per Laser. Sie entwickeln lasergestützte Verfahren zur Detektion von chemischen, biologischen oder explosiven Gefahrstoffen. Sie erproben neue Navigations- und Kommunikationssysteme. Sie befassen sich mit laserbasierter Ortung und Vermessung der rund 600.000 um die Erde kreisenden Weltraumschrott-Teilchen – und verschieben sie möglicherweise irgendwann einmal per Laser auf unbedenkliche Umlaufbahnen. Sie vermessen mit Hilfe der Strahlen ferne Planeten. Sie sammeln mit luftgestützten Lasersystemen Daten zur Verschmutzung der Erdatmosphäre und sie setzen Laser in der Wetterbeobachtung ein. Sie tüfteln an Fly-by-Light-Systemen, die später einmal die zurzeit modernste Fly-by-Wire-Technik in der Flugzeugsteuerung ablösen sollen. Selbst für künftige Raumfahrtantriebe kommt das verstärkte Licht in Frage: Forscher experimentieren dafür mit gepulsten Lasern. Das Spektrum der DLR-Aktivitäten in diesem Hochtchologiesegment ist wahrlich breit gefächert.

Erster deutscher Kohlenmonoxid-Laser made by DLR

Bei all diesen Vorhaben geht es nicht allein um grundlagen- und anwendungsorientierte Forschung. Das DLR besitzt auch bei Entwicklung und Konstruktion eigener Strahlquellen ausgewiesene Expertise. So zum Beispiel am DLR-Institut für Technische Physik in Stuttgart: 1974 präsentierte das damalige Institut für Plasmadynamik den ersten deutschen gasdynamischen Kohlenmonoxid-Laser zur Werkstoffbearbeitung. 20 Jahre später ging am DLR in Lampoldshausen mit dem COIL (Chemical Oxygen Iodine Laser) erstmals ein neuartiger chemischer Hochleistungs-Sauerstoff-Iod-Laser in Betrieb. Dank hervorragender Skalierungseigenschaften, hohem Wirkungsgrad und kurzer Wellenlänge von 1,315 µm bietet dieser für sicherheitsrelevante Zwecke entwickelte Typ optimale Voraussetzungen für Anwendungen im Hochenergiebereich. „Unser COIL war lange Zeit der stärkste Laser dieser Art außerhalb der USA“, sagt Hans-Albert Eckel, Leiter Studien und Konzepte im DLR-Institut für Technische Physik.

Mittlerweile erprobt das DLR Laserquellen nicht nur im Labor, sondern auch unter realen Umweltbedingungen. Ende 2008 eröffnete in Lampoldshausen eine neuartige Laser-Freistrahlstrecke. Die mehr als 130 Meter lange Anlage ermöglicht Messungen und Experimente in freier Atmosphäre – bei Wind und Wetter. Jüngst wurden dort unter anderem Versuche zur Messung von Wirbelschleppen durchgeführt. Auch in der konkreten Laseranwendung verfügt das DLR über jahrelange Erfahrung und exzellentes Know-how. Als der isländische Vulkan Eyjafjalla im April 2010 seine Aschewolken nach Europa pustete

und eine Woche lang fast den gesamten Luftverkehr lahmlegte, lieferte das DLR mit einem luftgestützten Zwei-Mikrometer-Wind-Lidar-System entscheidende Hinweise zur Konzentration der Ascheteilchen in der Luft. Lidar steht für Light Detection And Ranging. Solche Systeme senden Laserpulse aus und detektieren das aus der Atmosphäre zurückgestreute Licht. Wolken- und Staubteilchen (Aerosole) streuen das Laserlicht; aus der Lichtlaufzeit der Signale und der Lichtgeschwindigkeit lassen sich die Entfernung zum Streuungsort wie auch die Beschaffenheit und Konzentration der Aerosole ermitteln.

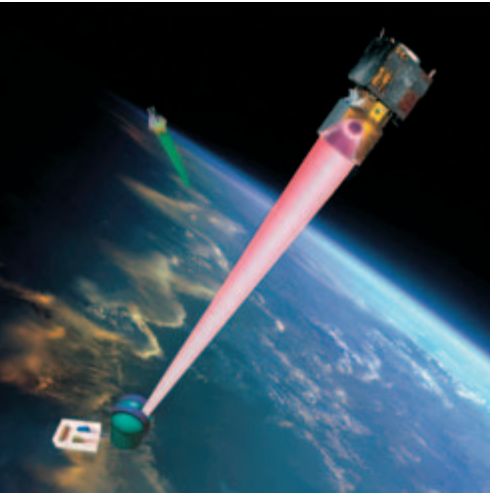
In Lidar-Messgeräten für die Umwelt im Einsatz

Im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung startete das DLR-Forschungsflugzeug Dassault Falcon 20 E zu mehr als einem Dutzend Messflügen. Ausdehnung und Geometrie der Aschewolke konnten die DLR-Forscher dabei exakt bestimmen. Die so gewonnenen Daten flossen direkt in die Lagebeurteilung beim Bundesministerium für Verkehr ein. „Wir haben das Lidar in kürzester Zeit auf dem Flieger installiert“, betont Andreas Fix von der Abteilung Lidar beim Institut für Physik der Atmosphäre in Oberpfaffenhofen: „Das war schon eine Herausforderung, aber wir haben es geschafft.“ Schließlich sei das DLR bei flugzeuggetragener Lidar-Technologie europaweit führend. Auch diese Systeme mit zum Teil sehr hoher Fertigungstiefe entwickelt das DLR selbst. Sie kommen sogar in der Sahara zum Einsatz: Immer wieder wirbelt der Wind den feinen Wüstensand bis zu fünf Kilometer hoch in die Luft – mit bislang noch wenig erforschten Folgen für das Klima. Bei zwei großen Kampagnen vermaß die DLR-Falcon per Lidar den Sahara-Staub. Im Rahmen des multinationalen Wetterforschungsprogramms COPS (Convective and Orographically-induced Precipitation Study) der World Meteorological Organization (WMO) zur Niederschlagsvorhersage kreiste die Falcon über dem Schwarzwald.

Dabei gelangen dreidimensionale Messungen aus elf Kilometer Höhe. So konnten die Wissenschaftler den Wasserdampf und das Windfeld in der gesamten Troposphäre, in der sich das Wettergeschehen abspielt, auf einmal untersuchen. Auch in der Taifun- und Tornado-Forschung werden flugzeuggestützte Lidar-Systeme des DLR eingesetzt. Dagegen stieg das Lidar des Projekts CHARM (CH4 Airborne Remote Monitoring) per Helikopter in die Luft. Es soll Lecks in Erdgasleitungen finden und nutzt dabei Lichtpulse zweier unterschiedlicher Wellenlängen: Die eine wird von Methan absorbiert, die andere nicht. So kann man selbst kleinste, am Boden austretende Gasmengen entdecken.

Fest steht: Erforschung und Weiterentwicklung komplexer Hochtechnologien wie Laser und Lidar sind aufwändig – mitunter bringen sie aber auch dauerhafte Einnahmen. Wie etwa beim Scheibenlaser: Diese Variante eines Festkörperlaser wurde vom DLR-Institut für Technische Physik Anfang der Neunzigerjahre gemeinsam mit dem Institut für Strahlwerkzeuge der Universität Stuttgart entwickelt. Und zusammen mit dieser Hochschule hält es nach wie vor die Patente. Der Scheibenlaser heißt so, weil das aktive Medium die Form einer Scheibe hat. Mit ihm lassen sich Schweiß- und Schneidarbeiten in höchster Präzision erledigen, was insbesondere die Automobilindustrie erkannt hat: So sind Fertigungsstraßen von Mercedes-Benz und der Volkswagen AG mit Scheibenlasern ausgerüstet. Mit den Lizenzinnahmen fährt das DLR bis heute gut und kann sie in Laser-Anwendungen der Zukunft investieren. Denn das Potenzial der 50 Jahre alt gewordenen Erfindung ist noch längst nicht ausgeschöpft.

Weitere Informationen:
www.DLR.de/lk
www.tu-harburg.de/ilt



Schematische Darstellung eines Satellitenstarts mittels erdgestütztem Hochenergielaser

Funktionsprinzip des Lasers

Laser ist die Abkürzung für Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation – Lichtverstärkung durch stimulierte Emission von Strahlung. Die herausragende Eigenschaft des Laserlichts ist seine Kohärenz. Das bedeutet: Alle Lichtwellen schwingen im Gleichtakt und verstärken sich dadurch gegenseitig. Das Funktionsprinzip beruht auf der sogenannten induzierten oder auch stimulierten Emission. Dieser physikalische Effekt, den es so in der Natur nicht gibt, führt zu einer starken Erhöhung der Lichtenergie. Dabei wird ein Atom durch Energiezufuhr in einen angeregten Zustand versetzt. Durch ein Photon wird nun eine Emission induziert. Folge: Es werden zwei Photonen gleicher Energie, Phase und Richtung abgegeben. Die Zufuhr von Energie, die man benötigt, um die Atome oder Moleküle in den angeregten Zustand zu versetzen, bezeichnet man als Pumpen. Das Pumpen geschieht meist optisch oder elektrisch, kann aber auch durch eine chemische Reaktion erfolgen. Je nach verwendetem aktiven Medium unterscheidet man zwischen Gaslasern, Farbstofflasern, Festkörperl Lasern und Halbleiterlasern.

Zur Premiere des DLR-Magazins im Juni starteten wir unsere Museumsserie. Zeppelin in Friedrichshafen war das erste Ziel. Für unseren heutigen Ausflug in die Historie bleiben wir noch in Friedrichshafen und schauen uns im Dornier-Museum um. DLR-Luftfahrtredakteur Hans-Leo Richter schwelgte in einer Fülle von Originalmaschinen, Flugzeugmodellen und Dokumenten. Erfahren Sie von ihm, weshalb sich ein Besuch in Friedrichshafen doppelt lohnt.

Der Geist der Do lebt!

Der französischstämmige Ingenieur Claude Dornier erblickte in Kempten/Allgäu das Licht der Welt. Seine Karriere startete er später am Bodensee, in der Luftschiffwerft des Grafen Zeppelin. Dort beschäftigte sich der studierte Maschinenbauer zunächst mit Festigkeitsfragen von Metallprofilen. Seinen ersten „großen Wurf“ landete er mit einer Patentschrift für eine „Drehbare Langhalle für Luftschiffe“. Der alte Graf war von den Fähigkeiten seines jungen Ingenieurs bald so überzeugt, dass er ihm den Aufbau einer eigenen Entwicklungsabteilung anbot, die „Abt. Do“ entstand – und erstmals fand das später so berühmt gewordene Kürzel „Do“ seinen Weg in die Öffentlichkeit. Es begann ein langer Weg, der von ersten Flugbooten bis hin zu heutigen Regionalverkehrsflugzeugen führt und vom ausschließlichen Flugzeugbau schließlich hin zu weitverzweigtem Engagement in der Raumfahrt und selbst in der Medizintechnik reichte. Nur folgerichtig, dass die Erben der berühmten Familie vor einigen Jahren ebendort am Bodensee ein Museum planten, welches diese großen und faszinierenden Entwicklungsbögen nachzeichnen und künftigen Generationen veranschaulichen sollte.

Im Dornier-Museum in Friedrichshafen

Von Hans-Leo Richter

Das Museum liegt unmittelbar am Friedrichshafener Flughafen, das Gebäude ist einem Flugzeug-Hangar nachempfunden. Große Glasflächen und geschwungene Linien repräsentieren einen zeitlos modernen, nahezu futuristischen Architekturstil. Das Museum ist eingebettet in einen kleinen Landschaftspark, dem eine Freifläche mit mehreren Original-Flugzeugen angegliedert ist.

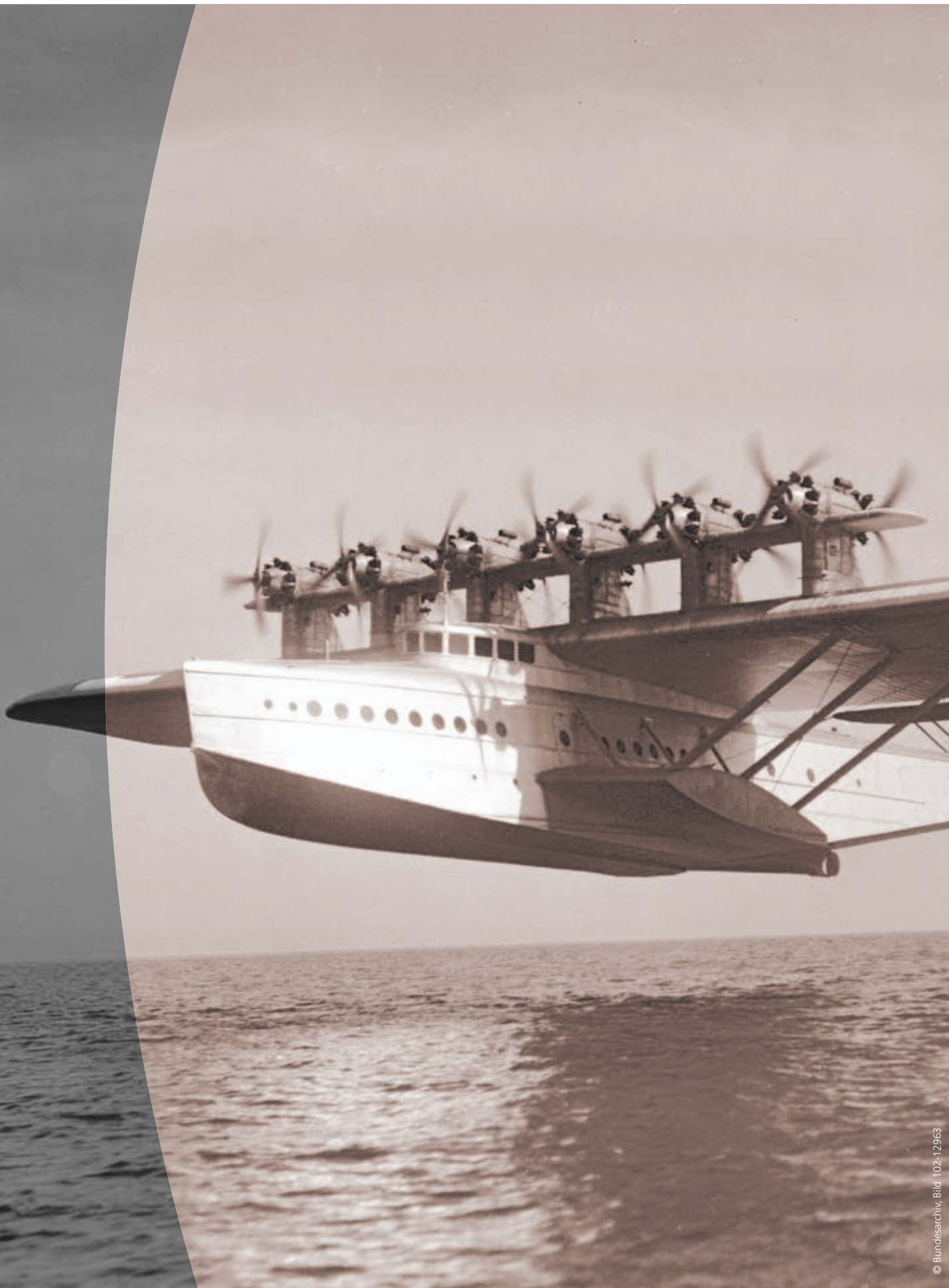
In der Eingangshalle empfangen großformatige Porträts der wichtigsten Persönlichkeiten aus der Luftfahrtgeschichte den Besucher, darunter selbstverständlich Ferdinand Graf Zeppelin, Claude Dornier, Hugo Junkers, Ludwig Prandtl ... Dann betritt man einen großen Saal mit zahlreichen Vitrinen – und taucht augenblicklich ab in die hochinteressante und wechselvolle Geschichte des Hauses Dornier. Von nahezu allen jemals gebauten Flugbooten und Landflugzeugen finden sich minutiös gefertigte Modelle, Videos machen die spannende Präsentation multimedial.

Wie schon Graf Zeppelin, sein großer Mentor und Förderer, operiert auch Claude Dornier zuerst vom Wasser aus. 1914 beginnt er in Manzell, nur wenige Kilometer von Friedrichshafen entfernt, mit dem Bau seines ersten Flugzeugs – eines bereits sehr groß dimensionierten Flugboots. Dabei greift Dornier mit stark gestreckten Trägersystemen aus gezogenen Stahlprofilen auf Konstruktionselemente zurück, die bereits bei den Zeppelin-Luftschiffen erfolgreich zum Einsatz kamen. Es folgten leichte Landflugzeuge für den Militäreinsatz (noch dauert der Erste Weltkrieg an) und weitere, deutlich verbesserte Flugboote mit bemerkenswerten Flugleistungen. Bereits bei diesen frühen Flugbooten verwendete Dornier an der Unterseite des Rumpfes sogenannte Flügelstummel, die die Verstreibungen des Hauptflügels trugen – und zugleich als Hilfsschwimmkörper ausgebildet waren. Sie wurden zum Kennzeichen aller späteren Dornier-Flugboote.

„Kann man es verantworten, dass alles, was im Zeitraum fast eines Jahrhunderts von der Firma Dornier geschaffen wurde und woran so viele Menschen mit großer Hingabe gearbeitet haben, einfach verschwindet?“

Silvius Dornier, Initiator des Museums

Die erste Do X vor ihrer Umrüstung auf Curtis-Conqueror-Reihenmotoren im Sommer 1930





Ob Ferdinand Graf Zeppelin, Claude Dornier, Hugo Junkers, Ludwig Prandtl oder Orville Wright – die große Eingangshalle empfängt den Besucher mit großformatigen Abbildungen der wichtigsten Pioniere der Luftfahrtgeschichte

Das in natürlicher Größe rekonstruierte Kabinensegment der zwölfmotorigen „Do X“ überrascht durch Geräumigkeit und eine heute in Luftfahrzeugen nicht mehr vorstellbare Wohnzimmer-Gemütlichkeit



Nach dem Krieg verlegte Dornier, um die Restriktionen des Versailler Vertrags zu umgehen, seine Produktionsstätten in die Schweiz, ans gegenüberliegende Bodenseeufer bei Rorschach, später kam sogar eine weitere Flugzeugwerft im norditalienischen Marina di Pisa hinzu. Für die beginnende Verkehrsflugfahrt bedeutsam wurde die „Komet“, ein Schulterdecker mit Platz für vier, später sechs Passagiere. Das Nachfolgemuster, die „Merkur“ schließlich, ist heute – als Nachbau im Originalmaßstab – im Friedrichshafener Museum zu bewundern.

Geradezu unauslöschlich verbunden mit dem Namen Dornier sind zwei Flugzeugtypen, das Flugboot „Dornier Wal“ (später „Superwal“) sowie die „Do X“, das legendäre Riesenflugboot mit zwölf Motoren. Beides bleibende Kapitel der Luftfahrtgeschichte. „Wal“ und „Superwal“ bewährten sich ausgesprochen gut im beginnenden Südatlantik-Luftpostverkehr, zahlreiche Rekorde wurden mit diesen Typen aufgestellt. Die „Do X“ schließlich stellte alle bisherigen Flugzeugentwürfe in den Schatten. Ausgelegt ursprünglich für 66 Passagiere, demonstrierte Dornier die Festigkeit der Konstruktion mit 159 (freiwilligen) Fluggästen im Rahmen eines einstündigen Testfluges über den Bodensee. Ein kommerzieller Erfolg war dem Muster allerdings nicht beschieden, technische Pannen wie auch die relativ komplizierte Handhabung bei ungünstigen Witterungsbedingungen schreckten potenzielle Kunden ab – für solche Giganten war die Zeit noch nicht reif. Insgesamt wurden auch nur drei Exemplare gebaut, zwei Flugboote wurden nach Italien veräußert, das verbliebene landete schließlich im Luftfahrtmuseum Berlin, wo es während eines Bombenangriffs im Zweiten Weltkrieg zerstört wurde.

Während der nationalsozialistischen Herrschaft und des folgenden Zweiten Weltkriegs standen naturgemäß Militärprojekte im Vordergrund: Die Pfeilschlanke Do 17 („Fliegender Bleistift“) ist hier ebenso zu nennen wie das späte Projekt der Do 335, ein schneller Jagdflugzeug mit zwei Motoren in Tandembauweise. Claude Dornier selbst stand den braunen Machthabern äußerst skeptisch gegenüber, immerhin wusste er zu verhindern, ebenso brutal aus seinem Lebenswerk hinausgedrängt zu werden, wie es etwa seinem Konstrukteurs- und Unternehmerkollegen Hugo Junkers widerfahren war.

Nach dem Krieg machte sich Claude Dornier – anfangs von Spanien aus – erneut einen Namen, zunächst mit der Fabrikation kleiner Mehrzweckflugzeuge wie der einmotorigen Do 27, die in zahlreichen Varianten gebaut und zu einem bemerkenswerten Erfolg wurde. Einen Meilenstein in der Nachkriegsentwicklung setzte Dornier schließlich mit der Do 31, dem ersten senkrecht startenden Experimental-Strahltransporter. Auch dieses Flugzeug ist im Originalzustand im Friedrichshafener Museum zu bestaunen. Mitte der Sechzigerjahre gelangen mit den

Prototypen zwar zahlreiche Testflüge, das Programm wurde von politischer Seite allerdings beendet.

Zu dieser Zeit hatte Dornier sein Tätigkeitsfeld längst erweitert, in der Dornier System GmbH wurden zahlreiche Programme in den Bereichen Raumfahrt, Wehrtechnik, Elektronik und Medizintechnik erfolgreich verwirklicht. Das Dornier-Museum informiert auch über diese Sparten, beispielsweise mit einem anschaulichen Modell des erfolgreichen Nierenstein-Zertrümmerers („Nieren-Lithotripter“) ausführlich und plakativ. So finden sich weiterhin zahlreiche Exponate wie beispielsweise ein begehrbares Modell des Sonnensystems sowie ein Segment aus dem europäischen Raumlabor Spacelab.

Friedrichshafen gestern, heute und morgen – was bleibt? Der Name Zeppelin lebt sehr agil weiter, die Zeppelin GmbH baut und vertreibt den Zeppelin NT. Modernstes technologisches Know-how hat altes Gigantomanie-Denken nicht nur abgelöst, sondern vollständig ersetzt, der Name bleibt auch künftig Tradition und Verpflichtung. Und Dornier? Flugzeuge mit dem ursprünglichen „Do“-Label sind bedauerlicherweise Geschichte. Nach dem durchaus erfolgreichen 228-Programm eines robusten Regionalverkehrsflugzeugs (mittlerweile bietet die Firma RUAG eine modernisierte Version der 228 an) schnupperte man mit dem Nachfolgemodell 328 Morgenluft. Aber es sollte einfach nicht mehr sein. Die Verbindung mit dem US-Hersteller Fairchild sollte schließlich buchstäblich in letzter Minute noch zu neuen Horizonten führen, aber die ehrgeizigen Programme eines Mittelstreckenjets blieben, aus vielerlei Gründen, im Ansatz stecken. Das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt sicherte sich aus der Konkursmasse zu guter Letzt den – fast – flugfähigen Prototypen der Do 728. Am DLR-Standort Göttingen wird dieser – nie geflogene – Flugversuchsträger nunmehr für vielfältige Forschungsvorhaben wie beispielsweise die Kabinenaerodynamik intensiv genutzt. Immerhin ...

„Ich wünsche mir, dass das Museum mit einer ständig wachsenden, lebendigen Sammlung zu einem kulturellen Ort der Begegnung und des Austausches wird – ein Treffpunkt für alle Menschen, die aus der Vergangenheit lernen wollen und die den Chancen und Aufgaben der Zukunft zugewandt sind“, so Silvius Dornier, Sohn von Claude Dornier, Gründer der Dornier-Stiftung für Luft- und Raumfahrt und der Initiator des auch architektonisch herausragenden Museums bei der Eröffnung im letzten Sommer.

Idee und Konzept leben – Besseres kann man ein Jahr nach Eröffnung des Dornier-Museums kaum sagen.

Weitere Informationen:
www.dorniermuseum.de

Geschickte Implementierung einer Original-Steuersäule in das Cockpit-Großfoto der dazugehörigen Dornier 217 E-2, eines zweimotorigen Schnellbombers aus dem Jahr 1938

In einem kleinen Modellwindkanal können sich die Besucher über Strömungsverläufe an einem Flügelprofil informieren



© Bilder: Dornier-Museum

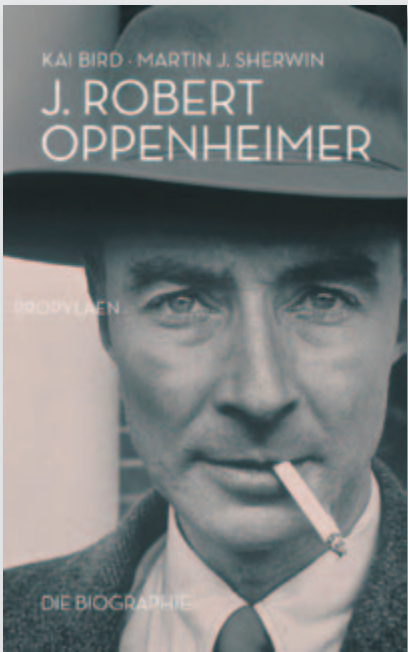
Blick auf den Triebwerksträger mit den Hubtriebwerken sowie eines der Haupttriebwerke mit variabler Abgasstrahlführung des Senkrechtstarters Dornier Do 31



Rezensionen

Schicksal oder Zahl

Sie haben die Wahl: Die vielgelobte Biografie einer der interessantesten Wissenschaftlerpersönlichkeiten der jüngeren Zeitgeschichte oder Stöbern in Nachschlagewerken. Option drei ist die Lektüre einer kulturhistorischen Raumfahrt-Betrachtung. Ob Sie sich nun von der lebendigen Sprache, in der Oppenheimers Schicksal erzählt wird, in den Bann ziehen lassen oder sich als Statistik-Freund am feinen technischen Unterschied begeistern – Lesen macht schön. Das jedenfalls behauptet Das Magazin, ein Namensvetter des DLR-Magazins, in seinem monatlichen Editorial. Als Zeitschrift für Kultur und Lebensart überrascht das handliche Heft allmonatlich seine treuen Leser aufs Neue (www.dasmagazin.de). Vielleicht bekommen Sie nach der Lektüre der in unserem Magazin vorgestellten Bücher eine Ahnung, ob am Slogan der Kollegen was dran ist.



Meisterliche Biografie

Heinar Kipphardts „In der Sache J. Robert Oppenheimer“ gehörte Mitte der Sechzigerjahre zum festen Bestandteil des Deutschunterrichts der gymnasialen Oberstufe. Naturwissenschaft(ler) in Frage zu stellen war „in“. Was hätte der Deutschlehrer einem Primaner erzählt, der „Widerwillen gegen Kipphardts Text“ wegen des „unträglichen, völlig frei erfundenen Schlussmonologs“ geäußert hätte? – Doch die markigen Worte stammen von Oppenheimer selbst. Er fand das Stück grotten-schlecht und sich selbst falsch dargestellt.

Höchst spannend nachzulesen ist das in der jetzt auch in Deutsch erschienenen Biografie des „Vaters der Atombombe“ **J. Robert Oppenheimer (Propyläen)**. Anders als Kipphardt halten sich die Autoren Kai Bird und Martin Sherwin eng an Fakten und zeigen, dass der 1904 geborene Oppenheimer mehr war als der wissenschaftliche Leiter des Manhattan-Projekts. Sie schildern „Oppie“ als charismatische Führungsfigur voller Widersprüche. Schon als Schüler brillant, absolviert er in Rekordzeit ein Chemiestudium in Harvard, wendet sich danach der Physik zu, geht nach Göttingen und baut ab 1929 Berkeley zum amerikanischen Mekka der Quantenmechanik aus. Trotz der nicht unbemerkt gebliebenen Kontakte ins linke politische Spektrum wird er Leiter des „Manhattan Project“, das ohne ihn wohl gescheitert wäre. Er schweißt in Los Alamos die unterschiedlichen Forscherpersönlichkeiten zu dem Team zusammen, das die „Bombe“ vor Kriegsende einsatzfähig macht. Gleichwohl sollte es danach kaum einen Wissenschaftler geben, der nachdrücklicher vor den Gefahren des Atomzeitalters warnt. Das macht Oppenheimer in den USA zum „Sicherheitsrisiko“, im Kalten Krieg setzt eine regelrechte Hexenjagd gegen ihn ein. Erst Kennedy wird ihn rehabilitieren.

Die mit dem Pulitzer-Preis geehrte Biografie bringt den Wissenschaftler und den Menschen näher, weil sie den Leser in Oppenheimers Leben schauen lässt, Triumph und Tragik zeigt. Ein wunderbares Buch, das richtigstellt, was lange einseitig gesehen wurde, die Leistung von Wissenschaft und Wissenschaftlern beleuchtet und ein ebenso differenziertes wie lebendiges Bild zeichnet.

Rolf-Michael Simon

Kulturhistorische Expedition

In den mehr als 50 Jahren seit dem Start von Sputnik 1 hat die Raumfahrt einiges bewegt. Meist wird dabei an die technischen und politischen Auswirkungen gedacht. Vergessen wird aber oft der kulturelle Aspekt. Deshalb ist den beiden Herausgebern des Buchs **Die Spur der Sputnik (Campus)** Igor J. Polianski und Matthias Schwartz, zu danken, dass sie einer illustren Autorenschaft die Gelegenheit boten, Raumfahrt aus eben diesem Blickwinkel zu betrachten. Heraus kam eine anspruchsvolle und lesbare kulturhistorische Expedition. Sie reicht von der Veränderung des kollektiven Zeitempfindens über die Raumfahrtästhetik bis hin zu den Wandlungen in der visuellen Kultur in der Sowjetunion. Besonders interessant sind die teils philosophischen Betrachtungen zu den literarischen Adaptionen der Faszination von Weltraum und Raumfahrt.

Andreas Schütz



Bis zu jüngsten Experimentalflugzeugen

Die bekannte Reihe **Typenkompass (Motorbuch Verlag)**, kompakte Nachschlagewerke mit einer Vielzahl von Daten und Kurzinformationen, umfasst mittlerweile auch zahlreiche Einzeltitel aus der Luftfahrt. Der Band **Deutsche Verkehrsflugzeuge seit 1919** lässt die großen Pionierjahre der Vorkriegszeit Revue passieren, die bekannten Flugzeuge von Junkers und Dornier werden dabei ebenso vorgestellt wie die Erzeugnisse heute kaum mehr bekannter Hersteller wie Sablatnig oder Rohrbach. Bei der Beschreibung der Nachkriegstypen dominieren verständlicherweise die Modelle des europäischen Konsortiums Airbus. Es werden aber auch weniger bekannte Modelle wie die HFB 320 oder die Baade 152, das einzige zivile Verkehrsflugzeug aus der DDR, berücksichtigt.

Einen sehr guten Überblick gibt der Band **Zivile Hubschrauber** über die Entwicklung seit 1946. Die Palette der vorgestellten Drehflügler reicht von Agusta Westland bis Eurocopter, von den frühen Entwicklungen des Herstellers Bell bis zu den Varianten von Kamov, Mil und Sikorsky. Der Band **Deutsche Militärflugzeuge 1933 - 1945** gibt zum Einstieg in die Historie einen eher groben Überblick über die wichtigsten Typen der bekannten Hersteller wie Junkers, Messerschmitt, Dornier oder Heinkel. Aus Platzgründen werden die zahlreichen Varianten eines Typs nicht erwähnt. Hier ist der interessierte Leser bei den speziellen Typenkompass-Bänden wie **Focke-Wulf, Dornier** oder **Messerschmitt** besser aufgehoben, wobei allerdings die Beschreibung einzelner und eher seltener Sondertypen interessanter ist als die Vorstellung z. B. der elften Version des Jagdflugzeugs Me 109. Der Band **X-Planes – Experimentelle Fluggeräte seit 1946** gibt einen exzellenten Überblick über die Experimental- und Forschungsflugzeuge zunächst der NACA, dann später der Nachfolgeorganisation NASA. Der Bogen reicht von der berühmten Bell X 1 bis hin zu den jüngsten Experimentalflugzeugen von Boeing oder Northrop Grumman. Wer das Thema vertiefen möchte, ist mit dem bereits vor mehreren Jahren im gleichen Verlag erschienenen Band über die NASA-Luftfahrtforschung bestens bedient.

Hans-Leo Richter



Raketen im Überblick

Bernd Leitenberger als Raumfahrtautor sagt nicht unbedingt jedem etwas. Wir kennen seine buchförmigen Zusammenstellungen aktueller Raumfahrtprojekte im **Raketenlexikon (Edition Raumfahrt, books on demand, www.bod.de)** und die von ihm selbst als „...bekannteste Webseiten zum Thema Trägerraketen...“ charakterisierte Internet-Präsentation. Beide bieten Bekanntes, nur anders sortiert: Wissen aus Pressemitteilungen (Beispiel Automated Transfer Vehicle ATV) in Buchform. Eine klare Struktur vermisst der Leser. Teils besser sind die beiden Bände zu den Trägerraketen. Aber auch hier gibt es Lob nur für den Fleiß. Es bleibt bei einer nützlichen, doch kaum nachhaltig beeindruckenden Auflistung und Beschreibung der Trägerraketen der Raumfahrt. Mehr nicht.

Andreas Schütz