



Das Magazin des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt · www.DLR.de · Nr. 138 · Juni 2013

magazin

Forschung in Rotation

Seite 3

Von einem, der auszog, den Wind zu fangen

Seite 24

Unterwegs in Vulkanaschewolken

Seite 46

DLR magazin 138

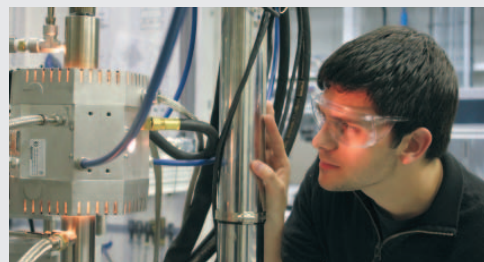


20

Kundschafter im freien Fall

Einen Moment lang ist der Weltraum in Bremen. Ein kurzer Countdown „3,2,1!“ und der Asteroidenlander trennt sich von seiner Muttersonde. Er fällt 110 Meter tief durch den luftleeren Raum. Im Augenblick der Landung in einem Meer aus Styropor-Kugeln sind die Beteiligten dann wieder in irdischen Gefilden: beim Test von MASCOT (Mobile Asteroid Surface Scout) im Bremer Fallturm. Hier stellen DLR-Wissenschaftler den Asteroidenkundschafter für die 2014 beginnende Hayabusa-2-Mission auf die Probe. Deren Gelingen hängt auch von der unbeschädigten Landung auf dem Asteroiden 1999 JU3 ab. Da darf nichts schiefgehen. Wie die Landeeinheit auf den großen Moment vorbereitet wird, schildert unsere Reportage.

Editorial	3
EinBlick	4
Leitartikel Nachhaltigkeit in Wissenschaft und Politik	6
Meldungen	8
Messplatz der Superlative Dünnste Schichten unter Röntgenstrahlen	10
Effizienter Alles-Schlucker Neuer Antrieb für Elektroautos	14
Interview Verkehrsforschung im Wüstensand	18
Reportage Kundschafter im freien Fall: Lander MASCOT	20
Porträt Holger Hennings zog aus, den Wind zu fangen	24
Rückblende Vor 50 Jahren flog die erste Frau ins All	28
Regionalmeldungen	30



Software mit offenen Quellen Mehr Innovation durch Open Source	32
Bildnachricht Bis nichts mehr fehlt: 10 Jahre Mars Express	36
Aus dem Messwagen auf die Datenautobahn Satellitendaten-Empfang im DLR Neustrelitz	38
Störungen unerwünscht! Oberstes Navigationsgebot: Signalgenauigkeit	42
Bevor Katla und Hekla aktiv werden Forschungsflüge in Aschewolken	46
Meldungen	49
Multi-Talent Roboter Von der Forschung zur kommerziellen Nutzung	50
In Museen gesehen Bei Häfelis, Langnasen und Seebienen	52
Rezensionen	56



Liebe Leserinnen und Leser,



morgens halb zehn in Deutschland ... machen wir alle eine Pause. Ich höre schon das sarkastische „Ja sicher!“, mit dem die eine oder der andere das kommentiert. Sind sie doch froh, überhaupt einmal am Tag ihre Arbeit für eine Weile unterbrechen zu können. Oft konfrontieren uns das Telefon, das Ton-signal der eingegangenen E-Mail oder das Handy mit der Erwartung ständiger Verfügbarkeit. Und allzuoft folgen wir der Erwartung, werden zu Getriebenen. Einmal abgesehen davon, dass konzentriertes Arbeiten auch einmal der Ruhe bedarf, brauchen wir auch noch etwas anderes: die Pause.

Das aus dem altgriechischen *paŭsis* entlehnte Wort steht für Rast oder Stillstand, die zeitlich begrenzte Unterbrechung eines Vorgangs. Kurz innehalten in der täglichen Arbeit, in der scheinbar nie enden wollenden Flut von Telefonaten, E-Mails und Besprechungen und einen Moment der Erholung, des Friedens zu erreichen, das ist eine Kunst für sich. Pausen in den Arbeitsalltag einzubauen, ist schon schwer. Für manch einen ist es fast noch schwieriger, längere Pausen, wie den Urlaub oder bedingt durch Krankheit, zu ertragen. Einmal etwas ganz anderes zu tun, die Dinge einfach mal ohne Zeitdruck zu erledigen oder gar sich dem Müßiggang oder der vom Körper erzwungenen Ruhe hinzugeben – das muss dann erst wieder erlernt werden. Körper und Geist tun sich schwer, sich an die „Freiheit“ durch unverplante Zeit zu gewöhnen, das antrainierte Pflichtbewusstsein zu ignorieren. Dabei wissen wir es längst: Pausen sind notwendig, damit die allgemeine Leistungsfähigkeit erhalten bleibt. Niemand kann ungestraft ewig durchpowern. Rastlosigkeit macht krank – und: Pausen fördern die Produktivität, wie auch die Kreativität.

Pausen spielen auch in den Beiträgen dieses DLR-Magazins eine Rolle, auch wenn es hier eher um einen Perspektivwechsel als um Müßiggang geht. So verließen DLR-Werkstoff-forscherinnen ihren heimischen Arbeitsplatz, um an einem ganz besonderen Messplatz nahe Chicago Veränderungen in dünnsten Schichten auf die Spur zu kommen. Selbst erzwungene Pausen haben zuweilen etwas Positives. Bis 1990 forschte das DLR zum Thema Windenergie, dann war erst mal Pause, bis heute. Jetzt zieht einer mit der Erfahrung aus den Anfängen erneut aus, den Wind zu fangen. Und die Pause, die zwischen dem Ausbruch des Vulkans Eyjafjallajökull im April 2010 und der nächsten Eruption auf Island liegt, nutzen DLR-Atmosphärenforscher, um sich auf die Schadenseinschätzung optimal vorbereiten zu können.

Doch bei aller Emsigkeit in Forschung und Verwaltung: Halten Sie es mit John Steinbeck: „Die Kunst des Ausruhens ist ein Teil der Kunst des Arbeitens.“ Und sollten Sie in Ihrer Pause Ablenkung suchen oder sich gern von Neuem inspirieren lassen – die Sommerferien sind ja nicht mehr weit – würde es mich freuen, wenn Ihnen dies mit der neuen Ausgabe unseres DLR-Magazins gelingt.

Sabine Hoffmann
Leiterin DLR-Kommunikation

EinBlick

Rotierende Forschung

Hier dreht sich alles um medizinische Forschung: Mit der Installation der neuen Kurzarmzentrifuge :envifuge durch die Herstellerfirma AMST Systemtechnik GmbH ist die Fertigstellung der Forschungsanlage :envihab des Instituts für Luft- und Raumfahrtmedizin im DLR Köln einen bedeutenden Schritt vorangekommen. Am 5. Juli 2013 wird sie eröffnet. Auf der Zentrifuge können gleichzeitig bis zu vier Probanden mit maximal 6G am Fußende beschleunigt werden. Damit stehen nun einzigartige Versuchsbedingungen bereit, beispielsweise um Trainingsmaßnahmen für Langzeitaufenthalte von Astronauten in der Schwerelosigkeit zu entwickeln. Erstmals können komplexe Bewegungsabläufe in der Hyperschwerkraft hochpräzise erfasst und medizinische Untersuchungen ferngesteuert durchgeführt werden. Die Versuchspersonen werden während der Experimente auf der Zentrifuge ständig von einem Arzt überwacht.

www.DLR.de/envihab



Sein, nicht nur Schein

Nachhaltigkeit in Wissenschaft und Wissenschaftspolitik

Von Johann-Dietrich Wörner



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

www.DLR.de/blogs/janwoerner

Nachhaltigkeit – der Begriff, den der sächsische Oberberghauptmann Hanns Carl von Carlowitz 1713 in seinem Buch „Sylvicultura oeconomica“ prägte, besitzt in der Forstwirtschaft zentrale Bedeutung. Seit einigen Jahren hat er auch in Forschungsbereiche Einzug gehalten. Die Überlegung, mit den Aktivitäten der Gegenwart zukünftigen Generationen keine Wege zu verbauen, ist nachvollziehbar und nicht nur aus ethisch-moralischen Gründen einzufordern.

Bis vor Kurzem wurden in der Politik neben Wissenschaft und Technik lediglich Ökonomie und Ökologie betrachtet: Nach der Zeit allgemeinen Fortschrittsglaubens, der oft genug mit der Ignoranz gesellschaftlicher Bedürfnisse einherging, kam in der nächsten Phase häufig die Begründung, „Sachzwänge“ ließen keinen anderen Weg zu. Die Berücksichtigung der Gesellschaft als entscheidende Motivation wurde nur zögerlich akzeptiert. Dies ist umso verständlicher, als alle Aktivitäten bewusst oder unbewusst letztlich auf gesellschaftliche Konsequenzen zielen.

Doch auch wenn heute gerne von „gesellschaftlicher Akzeptanz“ gesprochen wird, ist häufig genug lediglich gemeint, dass man mit entsprechenden Argumenten die „Stammischlufthoheit“ gewinnen kann. Für mich heißt das Zukunftsmodell „Gesellschaftlich tragfähige Lösungen“! Diese Formulierung sollte in der impliziten Verbindung mit dem Begriff der Nachhaltigkeit der Grundgedanke der verschiedensten Aktivitäten sein und gerade für das aktuelle Thema der Energiewende zur Anwendung kommen.

Zweifelloos stellt diese Forderung hohe Ansprüche nicht nur an die Politik, sondern auch an die Wissenschaftler und Techniker, die sich in ihrer täglichen Arbeit nicht verträumt allein dem Forschungsgegenstand widmen dürfen, sondern auch an die möglichen Konsequenzen denken müssen. Wie bleibt der Luftverkehr auch bei Zunahme sicher, wie kann er auch im Fall eines Vulkanausbruchs noch funktionieren und gibt es ein Mehr an Flugverkehr, ohne dass der von ihm verursachte Lärm unserer Gesundheit schadet? Wie vermeiden wir, dass Weltraumschrott zur Gefahr wird und wie schaffen wir es, Trümmerteile im All wieder einzufangen? Wie gelingt es, erneuerbare Energie stärker zu nutzen? Wie bleibt auch eine älter werdende Bevölkerung sicher mobil? Was können wir heute für den wissenschaftlichen Nachwuchs tun?

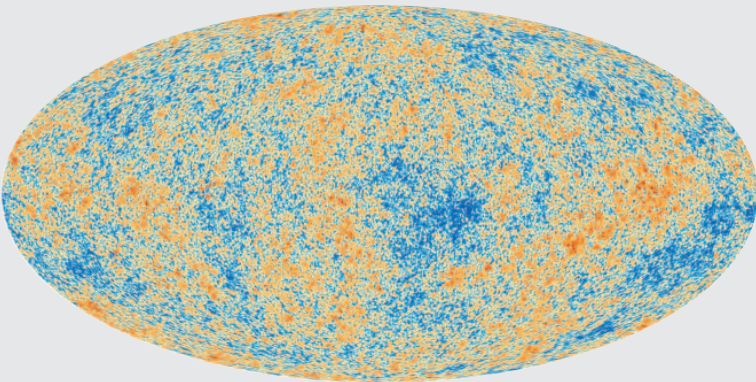
Die Forderung nach Nachhaltigkeit gilt aber nicht nur für die Forschungsthemen in den verschiedenen Disziplinen und deren Management. Sie muss auch im Prozess der Forschungsförderung Dreh- und Angelpunkt sein: Hier muss den Versuchungen von populistischen Trends widerstanden werden. Wollen wir die großen Herausforderungen der Gesellschaft 300 Jahre nach der Begriffsentstehung der Nachhaltigkeit meistern, so braucht es langen Atem und vor allem in der Forschung Förderinstrumente und Förderpolitik, die im besten Wortsinn nachhaltig wirken. ●

Meldungen

Ergebnisse vom Weltraumteleskop „Planck“

50 Jahre nach der Entdeckung der kosmischen Hintergrundstrahlung haben Forscher aus 40 europäischen und zehn amerikanischen Instituten die Reststrahlung des Urknalls so exakt wie nie zuvor vermessen. Auch deutsche Wissenschaftler sind im Auftrag des DLR Raumfahrtmanagements an dem Projekt beteiligt. Interessant sind vor allem die winzigen Temperaturunterschiede in der Hintergrundstrahlung. Daran lässt sich ablesen, wie das Universum entstanden ist und wie sich Energie und Dichte im Raum verteilt haben.

Das nach dem deutschen Physiker Max Planck benannte Weltraumteleskop war 2009 gestartet worden. Nun liegt die erste vollständige Himmelskarte der Hintergrundstrahlung vor. Dazu wurde der Himmel fünfmal komplett durchmustert. Die minimalen Temperaturschwankungen zeigen sich in auffälligem Fleckenmuster und verdeutlichen kleinste Unterschiede in der Verteilung der Dichte im frühen Universum. Das erlaubt Rückschlüsse auf die frühe Verteilung der Materie. So zeigen die Daten unter anderem, dass die normale Materie, aus der Galaxien, Sterne und auch die Erde bestehen, nur mit knapp fünf Prozent zur Masse- und Energiedichte des Universums beitragen. Mit fast 27 Prozent in deutlich größerer Menge vorhanden als bisher angenommen ist die „Dunkle Materie“, die sich nur über ihre Schwerkraftwirkung bemerkbar macht. Kleiner als der bisherige Standardwert ist auch die Geschwin-



Momentaufnahme vom ältesten Licht im Universum. Es zeigt winzige Temperaturschwankungen in Regionen mit leicht unterschiedlicher Dichte, aus denen alle zukünftigen Strukturen hervorgegangen sind.

digkeit, mit der sich das Universum heute ausdehnt – die sogenannte Hubble-Konstante: Das Universum ist demzufolge mit 13,82 Milliarden Jahren älter als bisher angenommen.

<http://s.DLR.de/3e90>



Jubiläum der deutschen Forschungsrakete TEXUS

Das weltweit längste Raketenprogramm für Forschung in Schwerelosigkeit hat ein Jubiläum zu verzeichnen: 35 Jahre nach der ersten TEXUS-Mission im Dezember 1977 startete am 12. April 2013 vom Raumfahrtzentrum Esrange bei Kiruna in Nordschweden aus die 50. TEXUS-Rakete in den Weltraum. 15 Minuten dauerte der Flug, davon herrschte sechs Minuten und 20 Sekunden lang Schwerelosigkeit. Ein Fallschirm brachte die wissenschaftlichen Nutzlasten nach dem Flug wieder zurück zum Boden.

Die DLR-Forschungsrakete trug vier deutsche Experimente aus Biologie und Materialforschung in eine Höhe von 261 Kilometern. Hauptnutzlast war die in Deutschland entwickelte Elektromagnetische Levitationsanlage EML. Mit ihr erforschen Wissenschaftler des DLR-Instituts für Materialphysik im Weltraum thermophysikalische Eigenschaften und das Erstarrungsverhalten von Metall-Legierungen, die von industriellem Interesse sind. Die Forscher untersuchten eine Aluminium-Nickel-Verbindung, die in der Luftfahrt und anderen Verkehrssystemen verwendet wird, sowie eine Nickel-Zirkonium-Legierung.



TEXUS 50 im Start-Turm

Das Experiment, das Forscher der Universität Marburg beisteuerten, war ein biologisches: Anhand von Sporenträgern eines Pilzes untersuchten die Wissenschaftler die allerersten Reaktionen eines Organismus auf Schwerkraftänderungen. Das zweite biologische Experiment auf TEXUS 50 kam von Wissenschaftlern der Universität Freiburg. Sie wollten Gene und Genprodukte („Boten-RNA“) identifizieren, die bei der Wahrnehmung und Verarbeitung des Schwerkraftreizes in Pflanzen eine Rolle spielen. Dazu flogen Keimlinge der Acker-Schmalwand mit, einer Pflanze, die aufgrund ihrer relativ einfachen genetischen Struktur seit den Vierzigerjahren von Forschern als Modellorganismus benutzt wird.

<http://s.DLR.de/oq18>



Greifsystem für Leichtbauteile

Ein Roboterwerkzeug mit einem speziellen Greifsystem wurde vom Zentrum für Leichtbauproduktionstechnologie (ZLP) auf Europas Leitmesse für Faserverbundleichtbau, der JEC in Paris, vorgestellt. Es ist in der Lage, Bauteile aus kohlenstofffaserverstärktem Kunststoff (CFK) während der Herstellung sicher zu greifen, zu transportieren und abzulegen. Der von DLR-Wissenschaftlern im ZLP Augsburg entwickelte „Streifengreifer“ kann sowohl einzelne streifenförmige Zuschnitte handhaben als auch große Zuschnitte mit Hilfe von zwei kooperierenden Robotern bewegen. Durch seinen modularen Aufbau lässt sich das Greifsystem an die Form des Bauteils anpassen.



Der „Streifengreifer“ kann Bauteile aus kohlenstofffaserverstärktem Kunststoff sicher handhaben, ein wichtiges Qualitätsmerkmal für die Produktion der Leichtbauteile

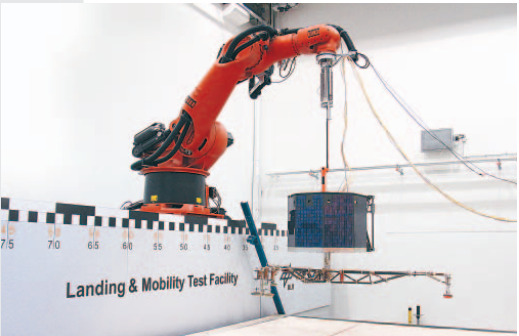
Bei seinem vierten Auftritt auf der JEC stellte das DLR außerdem ein Druckschott aus einem Faserverbundwerkstoff für ein Fahrwerk des Airbus 320 vor, zeigte eine Flügelschale in CFK-Leichtbauweise nebst einem 3-D-Scanner zur Vermessung der Flügelwelligkeit und präsentierte das „Gehirn“ des weltweit größten Forschungsautoklaven, mit dem der „Backvorgang“ von CFK-Bauteilen in dem riesigen druckdichten Röhrenofen gesteuert wird.

<http://s.DLR.de/7421>



Belastungstests für Philae-Schwwestern

Baugleiche Modelle des Kometenlanders Philae, der bereits seit neun Jahren durchs All fliegt, müssen derzeit einiges aushalten: Im DLR in Bremen setzt ein originalgetreues Lander-Modell deshalb immer wieder auf dem Boden auf – mal in weichem Sand, mal auf hartem Boden. Denn die Oberflächenbeschaffenheit des Kometen 67P/Churyumov-Gerasimenko, auf dem Philae im November 2014 landen soll, kennt noch niemand. Im DLR in Köln wird eine Philae-Kopie mit Kommandos angefunkelt und in Betrieb gesetzt.



In der Landing and Mobility Test Facility (LAMA) des DLR in Bremen stellen die Ingenieure ein Modell des Kometenlanders Philae auf die Probe. Unter anderem wird die Landung auf unterschiedlichen Böden simuliert.

boden und verankern Philae. Die Landung wird automatisch geschehen, denn ein Steuerungskommando von der Erde zum Lander würde aufgrund der großen Entfernung etwa eine halbe Stunde benötigen. Wenn die entscheidende Phase beginnt, müssen die Wissenschaftler darauf vertrauen, dass die Software an Bord perfekt funktioniert.

<http://s.DLR.de/k898>



ABSOLUT. WELTRAUMSCHWARZ.



<http://s.DLR.de/nb93>

Als der deutsche Wissenschaftsastronaut Reinhard Furrer am 30. Oktober 1985 mit dem Spaceshuttle Challenger ins All startete, hatte er ein Diktiergerät im Gepäck. Mit diesem hielt er während der Mission fortwährend seine Eindrücke fest – in Form eines akustischen Tagebuchs. Die renommierten Hörspielproduzenten Ammer & Console haben es unter dem Titel ‚Spaceman 85‘ kongenial vertont. Das Hörspiel erschien bereits 2005 auf CD, ist aber nach wie vor im Netz verfügbar (Anhören kostenlos, Download kostenpflichtig).

SEHENSWERT



<http://vimeo.com/61083440>

Blick aus der ISS – ein wunderschöner Kurzfilm mit Zeitraffer-Aufnahmen und atemberaubenden Fotos. Der aktuelle Dokumentarfilm von Christoph Malin ‚The ISS Image Frontier – Making the invisible visible‘ ist eine Hommage an das ISS-Programm und an NASA-Astronaut Don Pettit, der mehr als ein Jahr auf der ISS verbrachte.

HÖRENSWERT



<http://bit.ly/10tLWSW>

Weltraumlabor Columbus – seit fünf Jahren werden im Columbus-Labor wissenschaftliche Experimente auf der ISS in etwa 400 Kilometer Höhe durchgeführt. Der Hörfunkbeitrag des Bayerischen Rundfunks zieht eine Zwischenbilanz und geht dabei der Frage auf den Grund, was die Forschung im Weltall bringt.

SELTSAMES UNIVERSUM



<http://bit.ly/109cfGP>

Das Universum ist ein seltsamer Ort. Die englischsprachige Website Space.com hat eine interaktive Animation veröffentlicht und damit Kuriositäten im Weltall unter die Lupe genommen. Klicken Sie sich anhand erstaunlicher Betrachtungen durch den Kosmos, von A wie Antimaterie bis V wie Vakuum-Energie.

VIDEOERIE: DID YOU KNOW?



<http://bit.ly/123Pg44>

Im Webvideo-Format „Did you know“ der Europäischen Weltraumorganisation ESA werden Fußgänger in Europa zu ihrem Weltraumwissen interviewt. In der aktuellen Folge, aufgenommen auf der Domplatte in Köln, wird gefragt, wie lange die Reise zum Mars dauert. In drei Minuten zeigt das zweisprachige Video die zuweilen schmunzeln lassenden Antworten der Passanten und erklärt, wie lange die Reise zum Mars tatsächlich dauert.

STERNE, STERNE, STERNE



<http://s.DLR.de/1ir4>

„100.000 Stars“ ist eine interaktive Raumreise in unsere stellare Nachbarschaft. Die Visualisierung von 119.617 Sternen erfolgt am besten in Googles hauseigenem Chrome-Browser. Die Detailfülle und Darstellung von Raum macht einfach Lust auf eine Sternenreise am Bildschirm.

Messplatz der Superlative

Zwischen den Messplätzen bewegt man sich am besten mit dem Rad. Mehr als 1.000 Meter sind für eine Runde im Speicherring zurückzulegen. An 35 Stationen können Wissenschaftler mit hochenergetischer, sogenannter harter, Röntgenstrahlung arbeiten. Einzigartige Blicke bis in die atomare Dimension von technischen Materialien, aber auch biologischen Strukturen sind damit möglich. Wer hier forschen darf, zählt zu den Auserwählten. Ein Team aus dem DLR-Institut für Werkstoff-Forschung gehörte dazu. In einer Kooperation mit der Universität von Florida und dem Argonne National Laboratory bei Chicago untersuchte es, hier mit Hilfe von Synchrotron-Strahlen, was sich in hauchdünnen Schutzschichten für Turbinenschaufeln bei Temperaturen von mehr als 1.000 Grad Celsius und unter hohen mechanischen Beanspruchungen abspielt.

Hauchdünne Schichten unter harten Röntgenstrahlen

Von Prof. Dr.-Ing. Marion Bartsch und Janine Schneider

In den Turbinen moderner Flugzeugtriebwerke herrschen extreme Bedingungen. Die Verbrennungsgase gelangen mit Temperaturen von bis zu 1.600 Grad Celsius in die Turbine. Dort werden sie von sich abwechselnden Reihen feststehender und rotierender Turbinenschaufeln umgelenkt und sorgen so für den Antrieb der Turbine und den Schub für das Flugzeug. Dabei gilt: Je höher die Turbinen-Eintrittstemperatur ist, desto höher ist der thermische Wirkungsgrad. Obwohl die Turbinenschaufeln aus hochfesten Nickel-Superlegierungen bestehen, können sie diesen hohen Temperaturen nur widerstehen, weil sie über ein labyrinthartiges System von innen verlaufenden Kanälen gekühlt werden und auf der Außenseite mit Schutzschichtsystemen versehen sind. Die hohe Temperaturdifferenz zwischen gekühlter Innenseite und heißer Außenseite erzeugt in der Schaufelwand einen komplexen mehrachsigen Spannungszustand. Auf die Rotorschaufeln wirken Fliehkräfte ein, die das Grundmaterial kriechen lassen. Das führt dazu, dass die Turbinenschaufeln mit der Zeit immer länger werden. Zudem entstehen durch die thermischen und mechanischen Lastwechsel bei Start und Landung des Flugzeugs mit der Zeit Ermüdungsrisse.

Die Wirkung dieser komplexen Betriebsbedingungen untersuchen wir im DLR-Institut für Werkstoff-Forschung in Köln mit einer speziell entwickelten Prüfanlage an Laborproben. Auf

diese Weise gelingt es, die thermomechanischen Ermüdungsbeanspruchungen, die während des Fluges in einer Turbinenschaufel und ihrem Schutzschichtsystem auftreten, im Labor abzubilden. Deshalb sind im Laborversuch auch realistische Schädigungen zu erwarten. Ziel unserer Arbeiten ist es, die Lebensdauer beziehungsweise das Schädigungsverhalten der beschichteten Werkstoffe, die in der Flugzeugturbine eingesetzt werden, abzuschätzen. Denn, wenn das Schutzschichtsystem versagt, besteht die Gefahr, dass die Turbinenschaufel reißt und das Triebwerk schließlich ausfällt.

Wenn das Schutzschichtsystem versagt

Schutzschichtsysteme auf Turbinenschaufeln versagen typischerweise, indem sie abplatzen. Besonders gefährdet ist der Übergang zwischen Metall und Keramik. Das Schutzschichtsystem ist mehrlagig und besteht aus einer circa 200 Mikrometer dicken keramischen Wärmedämmschicht aus Zirkonoxid und einer darunter liegenden circa 100 Mikrometer dicken metallischen Oxidationsschutzschicht. Die Zirkonoxidschicht ist hochporös, um eine gute Wärmedämmung zu gewährleisten. Ihre Porosität macht sie durchlässig für den Sauerstoff in den heißen Verbrennungsgasen. Deshalb wird zuerst eine Oxidationsschutzschicht aus einer aluminiumreichen Legierung aufgebracht. Bereits bei der Beschichtung bildet sich eine dünne Aluminiumoxidschicht, die eine weitere Oxidation verlangsamt. Anfangs ist die Aluminiumoxidschicht etwa 0,3 bis 0,5 Mikrometer dick, sie wächst aber im Flugbetrieb. Dabei bauen sich hohe mechanische Spannungen auf, die das Schichtsystem schließlich versagen lassen.

An der Grenze des direkt Messbaren

Die Schädigungen, die nach mehreren hundert bis einigen tausend thermomechanischen Lastzyklen in der Versuchsprobe und speziell im Schichtsystem auftreten, untersuchen wir mikroskopisch. Die genaue Entstehungsgeschichte der beobachteten Schädigungen lässt sich aber erst erklären, wenn die lokalen Spannungen beziehungsweise Dehnungen während eines Lastzyklus bekannt sind. Wenn wir diese nicht direkt messen können, dann berechnen wir sie. Dazu wird ein geometrisches Modell der Versuchsprobe beziehungsweise eines Ausschnitts der beschichteten Probe erstellt und in ein numerisches Berechnungsmodell umgewandelt. Dann werden die thermomechanischen Lasten im Computermodell simuliert.

Versuchsanlage für thermomechanische Tests im Synchrotronstrahl



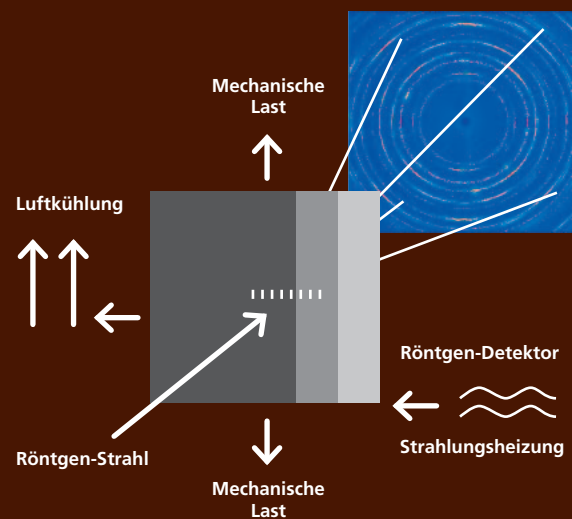
Team der University of Central Florida (UCF) zusammen mit Marion Bartsch (r.) und Janine Schneider vom DLR (3. v. r.)

Vorausgesetzt, die Eigenschaften der Werkstoffe des Schichtsystems sind für den gesamten Temperaturbereich bekannt, lassen sich so die lokalen Beanspruchungen im Material berechnen. Doch noch ist es eine Rechnung mit einigen Unbekannten: Speziell für die wenige Mikrometer dünnen Schichten fehlen viele Werkstoffkennzahlen. Hinzu kommt, dass sich die Eigenschaften der Schichten im Verlauf der Zeit bei Hochtemperatur und mit der Zahl der Lastzyklen ändern. Um den Unbekannten im System näherzukommen, haben wir in Kooperation mit einem Team von Prof. Anette Karlsson an der Universität des US-Bundesstaates Delaware zunächst die nicht bekannten Werkstoffdaten geschätzt und das Berechnungsergebnis dann mit dem beobachteten mikroskopischen Schädigungsbild verglichen. In weiteren Rechnungen haben wir durch Variation der Werkstoffdaten herausgefunden, bei welchen Daten Experiment



Luftaufnahme der Synchrotronquelle in Argonne bei Chicago

Prinzip der Dehnungsmessung mit Synchrotronstrahlung



Die Röntgenstrahlen werden an den Atomen der Schichtwerkstoffe abgelenkt. Ein Detektor nimmt die gebeugten Strahlen auf. Wird das Schichtsystem durch Wärme und/oder mechanische Lasten gedehnt, ändern sich die Atomabstände und damit das Beugungsmuster.

und Berechnungsergebnis am besten übereinstimmen. Auf diese Weise haben wir zwar einen plausiblen Datensatz für die Werkstoffeigenschaften der Schichtmaterialien erhalten, ein direkter Nachweis durch Messungen der Dehnungen im Schichtsystem unter komplexen Bedingungen stand jedoch bis dato aus.

Ein überraschender Vorschlag

Auf der 35. internationalen Konferenz der American Ceramic Society in Daytona Beach im Januar 2011 kam es zu einem Kontakt, der uns weiterbringen sollte. Prof. Seetha Raghavan von der University of Central Florida in Orlando brachte die Synchrotron-Quelle des Argonne National Laboratory in der Nähe von Chicago in die Diskussion und machte uns den Vorschlag, dort gemeinsam eine modifizierte Versuchsanlage, ähnlich der im DLR entwickelten, aufzubauen. Mit der hochenergetischen Röntgenstrahlung des Synchrotrons könnten wir in die Schichten eindringen und anhand der Wechselwirkung der Strahlung mit dem Werkstoff die Spannungen beziehungsweise Dehnungen in den einzelnen Schichten bestimmen. Das war der gesuchte Schlüssel, um unsere Berechnungen mit direkten Messungen zu überprüfen.

Nachdem wir ein erstes Konzept für die neue Versuchsanlage entwickelt hatten und Prof. Raghavan an der Advanced Photon Source (APS) in Argonne Messzeiten für unser Projekt bewilligt wurden, kamen ihre Doktoranden Kevin Knipe und Albert Manero im Sommer 2012 für zwei Monate in unser Institut nach Köln, um mit uns die neue Anlage zu konstruieren. Im Wesentlichen ging es darum, einen kompakten Heizofen mit einer hohen Leistung und eine effiziente Innenkühlung für die rohrförmigen Proben zu entwerfen. Der Heizofen musste in eine vorhandene mechanische Prüfmaschine am Argonne National Laboratory passen und an den richtigen Stellen Fenster für den Röntgenstrahl haben. Die gesamte Prüfmaschine ist auf Motoren montiert, mit denen die Probe mikrometergenau in dem feinen Röntgenstrahl positioniert wird. Bei den Messungen durchdringt der Strahl das Schichtsystem und wird dabei abgelenkt beziehungsweise gebeugt. Die abgelenkte Strahlung wird mit einem Detektor registriert und aus dem Muster, das dabei zu erkennen ist, kann berechnet werden, welche Materialien vorliegen.

Das funktioniert im Prinzip wie folgt: In kristallinen Materialien, wie sie im beschichteten System vorliegen, sind die Atome in einem dreidimensionalen regelmäßig aufgebauten Gitter angeordnet. Da die Gitterabstände für ein Material charakteristisch sind, sind auch die Beugungsmuster, die bei der Wechselwirkung von Röntgenstrahl und Kristallebenen entstehen, charakteristisch. Wird das Material durch thermische und mechanische Belastungen



Die weiße keramische Wärmedämmschicht ist bei der linken Schaufel nach vielen Langstreckenflügen teilweise abgeplatzt

verformt, dann ändern sich die Abstände der Kristallebenen und entsprechend die Beugungsmuster. Umgekehrt verraten uns die Beugungsmuster, wie stark das Material gedehnt ist. Das heißt für unser Schichtsystem, dass wir mit den Dehnungen für verschiedene thermomechanische Lastenspektren die mechanischen Eigenschaften der einzelnen Schichten herausbekommen.

Endlich auf dem Weg zum Ziel

Im November 2012 war es dann endlich so weit. Die Teams aus Orlando und Köln machen sich mit Komponenten des Ofens und den in Köln beschichteten Proben auf den Weg zur amerikanischen Photonenquelle APS in Argonne. Die APS ist ein Teilchenbeschleuniger, in dem Elektronen bis auf nahezu Lichtgeschwindigkeit beschleunigt werden. Dann werden sie in einem ringförmigen Edelstahlrohr, dem sogenannten Speicherring, von Elektromagneten in eine Kreisbahn gezwungen. Dabei geben sie Energie in Form hochenergetischer Röntgenstrahlung ab. Bei der APS hat der Speicherring einen Umfang von 1.104 Metern. Um den Ring sind in der Experimentierhalle 35 Labore, sogenannte beamlines, angeordnet, an denen ein Teil der erzeugten Röntgenstrahlung ausgekoppelt und für verschiedene Versuche genutzt wird.

Die Labore werden von Wissenschaftlern des APS betrieben, die zusammen mit externen Nutzern aus aller Welt die Experimente und Versuchseinrichtungen aufbauen und die Versuche wissenschaftlich begleiten. Sowohl die Nutzung des APS als auch die wissenschaftliche Begleitung sind quasi unbezahlbar. Uns kosteten sie einen sehr gut begründeten Forschungsantrag. Die bewilligte Messzeit ist entsprechend wertvoll, sodass wir in Schichten rund um die Uhr zunächst die Versuchseinrichtung zusammengebaut und dann möglichst ohne Unterbrechungen des Versuchsbetriebs unsere Messungen durchgeführt haben. Die Ausbeute war am Ende von vier Messtagen eine Festplatte mit einem Terabyte an Rohdaten. Deren Auswertung wird noch einige Monate in Anspruch nehmen, aber es lässt sich jetzt schon sagen, dass die Messungen erfolgreich waren.

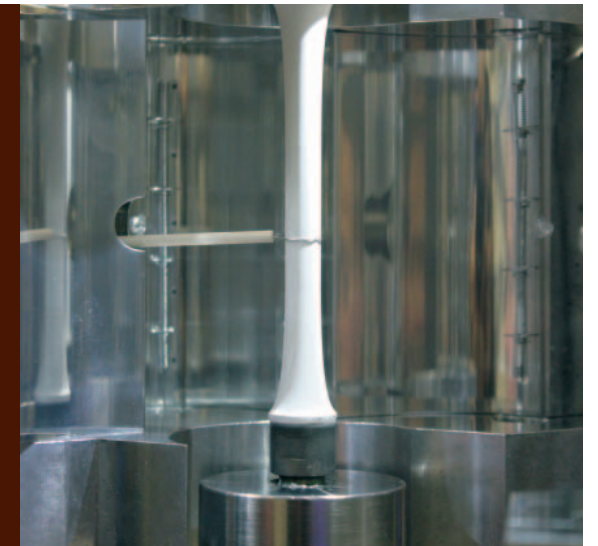
So ist die hauchdünne Aluminiumoxidschicht, die sich zwischen der keramischen Wärmedämmschicht und der metallischen Oxidationsschutzschicht bildet, erstaunlich gut zu erkennen. Die Beugungsmuster verraten auch, dass diese Schicht unter mechanischen Spannungen steht und – was wir nicht erwartet hatten – die Kristallite, aus denen die Schicht besteht, haben eine deutlich erkennbare Vorzugsorientierung. Die ersten Ergebnisse haben wir bereits auf der 37. internationalen Konferenz der American Ceramic Society in Daytona Beach vorgestellt, da wo die Kooperation zwei Jahre zuvor startete. ●

Autorinnen:

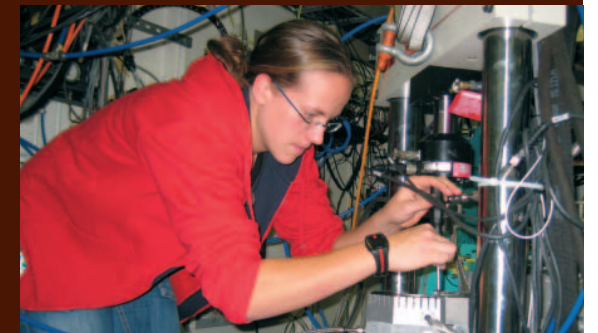
Prof. Dr.-Ing. Marion Bartsch leitet im Institut für Werkstoff-Forschung des DLR in Köln die Abteilung Experimentelle und Numerische Methoden. Außerdem ist sie an der Ruhr-Universität Bochum Professorin für Werkstoffe der Luft- und Raumfahrt. Frau Dipl.-Ing. (FH) Janine Schneider ist Leiterin der Gruppe Werkstoffmechanische Prüfung.

Das internationale Team:

Janine Schneider, Carla Meid, Prof. Dr.-Ing. Marion Bartsch – Institut für Werkstoff-Forschung in Köln; Prof. Anette Karlsson (jetzt Cleveland State University); Kevin Knipe, Albert Manero, Sanna Siddiqui, Prof. Seetha Raghavan – University of Central Florida in Orlando; Dr. Jonatan Almer, Dr. John Okazinski – Advanced Photon Source im Argonne National Laboratory bei Chicago.



Nahaufnahme der Probe (weiß im Bild)



Janine Schneider richtet die Versuchsanlage ein



Den Spezialofen im Blick: Albert Manero von der UCF

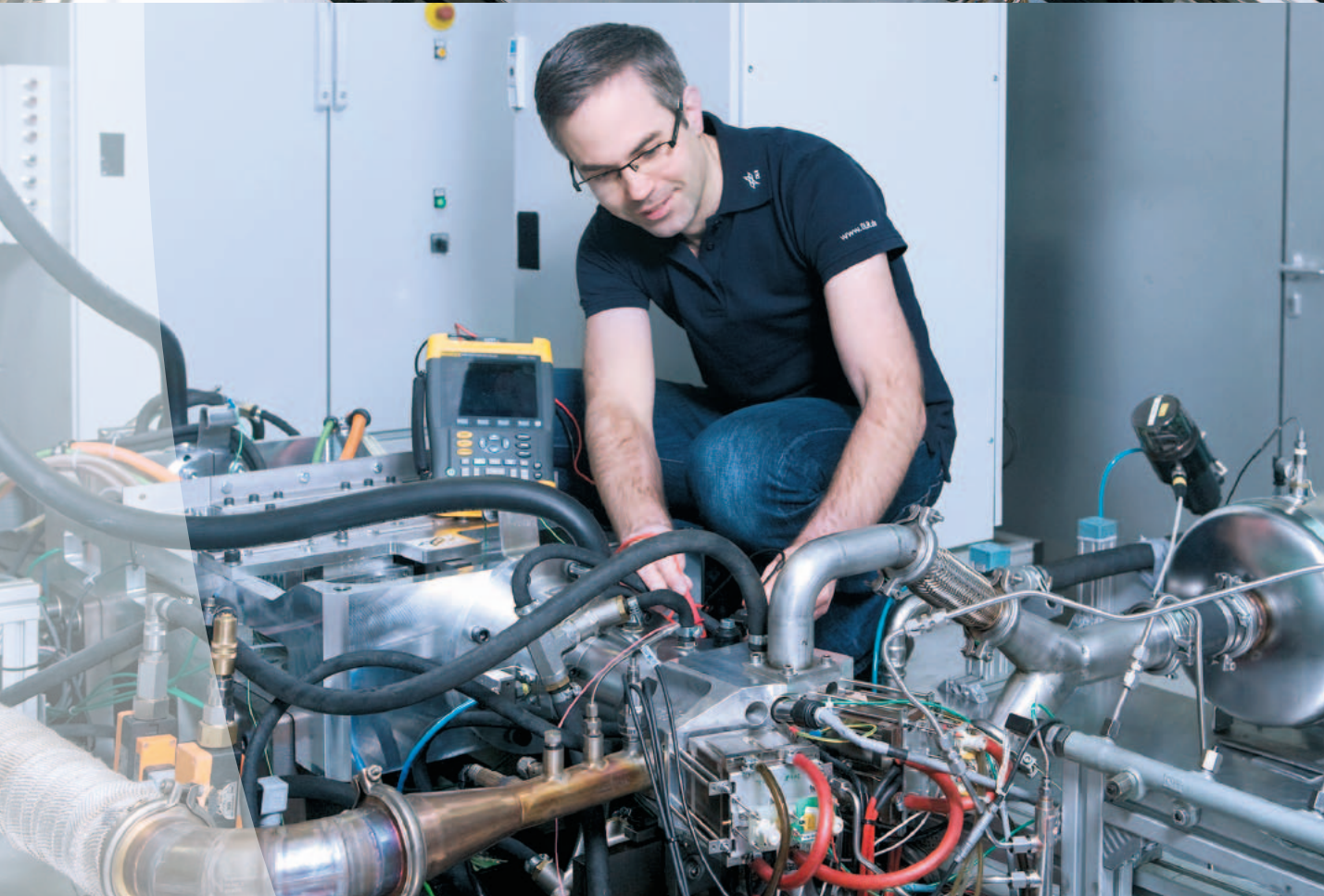
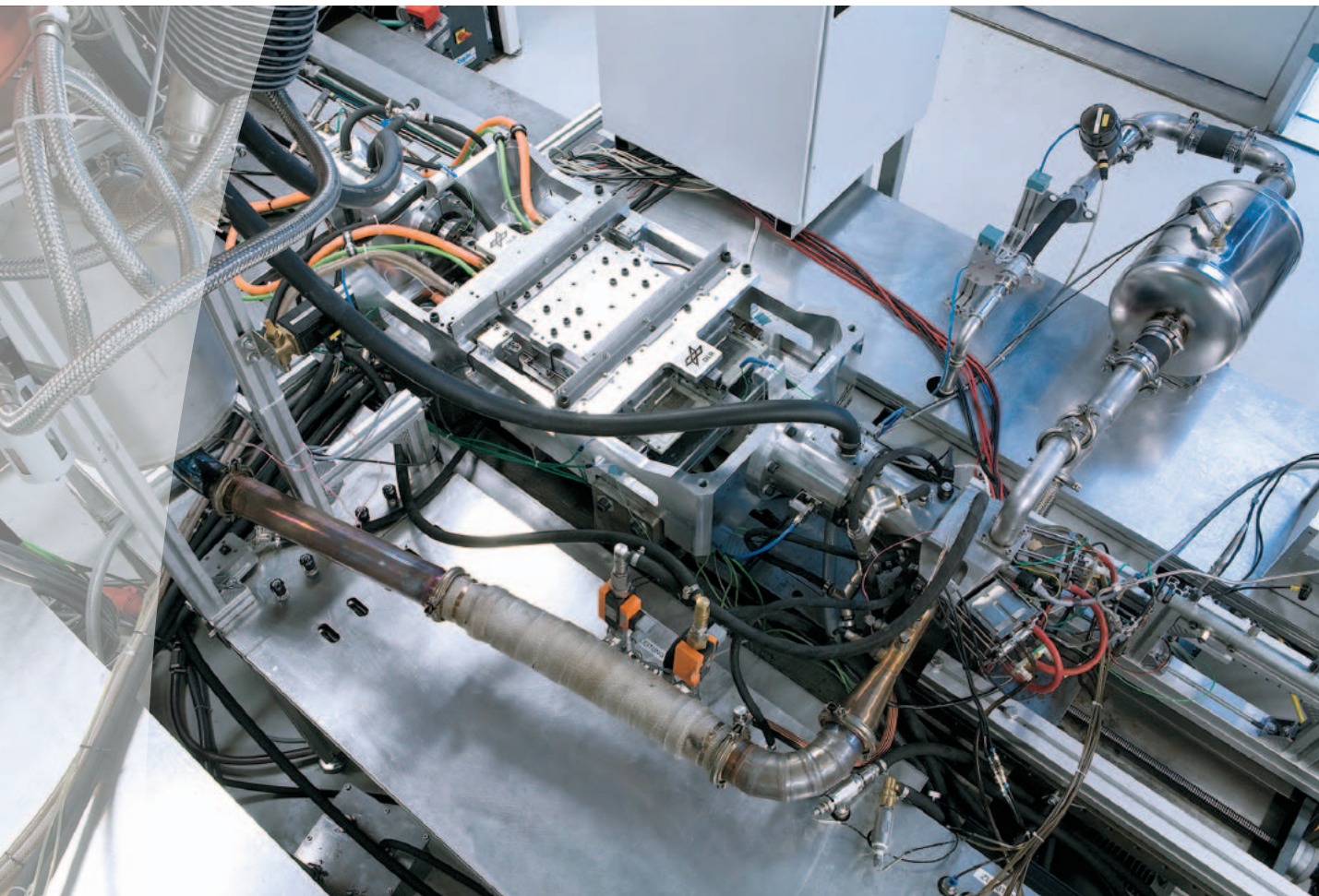


Kevin Knipe und Albert Manero bei der Datenerfassung

Weitere Informationen:



www.DLR.de/WF
www.aps.anl.gov
<http://mmae.ucf.edu/Faculty/Raghavan>



Speziell für den Freikolbenlineargenerator haben die DLR-Wissenschaftler in Stuttgart einen hydraulischen Motorenprüfstand entwickelt und aufgebaut, den einzigen seiner Art

Effizienter Alles-Schlucker

Eine Million Elektrofahrzeuge sollen im Jahr 2020 leise und sauber auf deutschen Straßen unterwegs sein – so das Ziel der Bundesregierung. Bisher surren allerdings nur etwas mehr als 7.000 solcher E-Autos durchs Land. Ein großes Hindernis ist die Batterie. Sie ist schwer, teuer und bietet nur eine sehr begrenzte Reichweite. Gleichzeitig sind die Ansprüche der Verbraucher an alternativ angetriebene Fahrzeuge hoch: Neben dem gewohnten Komfort großer Reichweiten und schneller Tankvorgänge muss auch das Preis-Leistungs-Verhältnis stimmen. Um Elektromobilität alltagstauglich und für ein breites Publikum interessant zu machen, haben DLR-Ingenieure des Instituts für Fahrzeugkonzepte in Stuttgart einen Range-Extender entwickelt, der auf einem komplett neuen Antriebskonzept basiert.

Der Freikolbenlineargenerator verhilft Elektroautos zu mehr Reichweite und arbeitet mit unterschiedlichen Kraftstoffen

Von Denise Nüssle

Im Keller des Instituts für Fahrzeugkonzepte sieht es ein bisschen aus wie im Kontrollraum einer Raumfahrtmission. Das Team um Dr. Frank Rinderknecht, der die Abteilung für Alternative Energiewandler leitet, sitzt in einer Schallschutzkabine hinter schweren Panzerglasscheiben. Konzentriert verfolgen die Ingenieure von hier aus die schnell wechselnden Zahlenkolonnen und bunten Kurvenverläufe auf den Monitoren vor ihnen. Ab und zu werfen sie einen prüfenden Blick nach draußen zum Teststand. Mit Hilfe einer detaillierten Checkliste arbeiten sie sich voran: Temperiergeräte und Kraftstoffversorgung müssen angeschaltet, Sensoren initialisiert, Drücke und Ventile eingestellt werden – alles in einer streng vorgegebenen Reihenfolge. Ein letzter Mausklick in der Steuerungssoftware bringt sie ans Ziel. Nach Jahren intensiver Forschungs- und Entwicklungsarbeit läuft der von ihnen entwickelte Freikolbenlineargenerator zum ersten Mal ohne Hilfsysteme und erzeugt Strom.

Range-Extender

Range-Extender sind zusätzliche Antriebsaggregate, welche die Reichweite eines Elektrofahrzeugs vergrößern. Die meisten Konzepte basieren auf einem Verbrennungsmotor, der einen Generator antreibt und so Strom erzeugt. Wenn die Batterie des Elektroautos leer ist, versorgt der Range-Extender das Fahrzeug mit Strom und erhöht so die Reichweite.

Noch ist das neuartige Antriebsaggregat mit dem sperrigen Namen von einer Vielzahl an Leitungen und Messgeräten umgeben und füllt gut und gerne einen Kleintransporter. Doch wenn es nach den Stuttgarter DLR-Wissenschaftlern geht, soll der Freikolbenlineargenerator, kurz FKLG, in wenigen Jahren als kompakter Range-Extender in jedes E-Auto passen und der Elektromobilität zum Durchbruch verhelfen. Denn die leisen Stromer fahren zwar lokal emissionsfrei, müssen aber abhängig vom Fahrverhalten und der Außentemperatur nach rund 150 Kilometern wieder mehrere Stunden aufgeladen werden. Hier setzt die Arbeit von Rinderknechts Team an, zu dem in der jetzigen Besetzung der

Projektleiter Florian Kock und die wissenschaftlichen Mitarbeiter Alex Heron und Roman Virsik sowie Johannes Haag vom Nachbarinstitut für Verbrennungstechnik gehören: Denn ihr Freikolbenlineargenerator kombiniert die Vorteile des elektrischen Fahrens mit der Flexibilität herkömmlicher Motoren.

Zwei Takte für mehr Ausdauer

„Bereits existierende Range-Extender basieren oft auf einer kleinen Version des klassischen Ottomotors“, erklärt Frank Rinderknecht. „Im Gegensatz dazu haben wir automobiles Neuland betreten und ein grundsätzlich anderes Antriebskonzept entwickelt. Es besteht aus drei Teilsystemen: einem Zweitaktverbrennungsmotor, einem Lineargenerator und einer Gasfeder.“ Der vom Freikolbenlineargenerator erzeugte Strom treibt das Elektroauto an, wenn die Batterie leer ist. In seinem Inneren laufen dazu folgende Prozesse ab: Im Verbrennungsraum zündet ein Kraftstoff-Luft-Gemisch, das sich ausdehnt und den Kolben antreibt. Die lineare Bewegung des Kolbens wird jedoch nicht in eine Drehbewegung umgewandelt. Stattdessen schiebt der Kolben Magnete durch die Spulen eines Generators und erzeugt so Strom. Die Gasfeder bremst die Bewegung des Kolbens ab und drückt ihn wieder zurück in Richtung Brennraum.

Im Vergleich zu herkömmlichen Aggregaten kommt das Konzept der Stuttgarter Forscher mit weniger beweglichen Bauteilen aus. So entfällt neben der Kurbel- auch die Nockenwelle. Das bedeutet geringe Reparaturanfälligkeit und wenig Wartungsaufwand. Gleichzeitig zeichnen sich Freikolbenmaschinen noch durch weitere Vorteile aus, wie etwa eine kompakte Bauweise und ein sehr gutes Verhältnis zwischen Gewicht und Leistung. Unter Ingenieuren ist das Prinzip schon lange bekannt und wurde immer wieder diskutiert – doch der Durchbruch ließ auf sich warten. Trotz der vielen Vorteile galt die Freikolbenbauweise als nicht realisierbar, vor allem wegen der notwendigen hochkomplexen Steuerungssoftware und der dafür erforderlichen Rechenkapazität.

Mit Verwendung einer Gasfeder und der Entwicklung einer besonders leistungsfähigen Regelung ist der Gruppe um Frank Rinderknecht nun gelungen, woran andere Freikolbenprojekte bislang gescheitert sind: Als erstes Team weltweit haben sie die Machbarkeit dieser speziellen DLR-Technologie nachgewiesen und konnten das System auf einem eigens entwickelten Prüfstand erfolgreich in Betrieb nehmen.

Kraftstoffflexibilität und hohe Effizienz

„Um den Freikolbenlineargenerator stabil zu betreiben, brauchen wir eine hochdynamische Leistungselektronik samt der dazugehörigen Steuerungssoftware, die das Zusammenspiel der drei Teilsysteme koordiniert“, erläutert Projektleiter Florian Kock. Diese zu entwickeln und zu programmieren, hat die Gruppe unzählige Arbeitsstunden gekostet. Doch der Aufwand zahlt sich nun aus, weil nur so das entscheidende Alleinstellungsmerkmal des FKLG realisiert werden konnte: seine große Variabilität. „Im Betrieb können wir alle wichtigen Motoreigenschaften flexibel einstellen: den Hubraum, die Kolbengeschwindigkeit und das Verdichtungsverhältnis“, schildert Kock. „Wir haben also einen Motor, den wir mit Hilfe der Software an die jeweiligen Bedingungen anpassen können“. Das variable Verdichtungsverhältnis macht es möglich, dass im Freikolbenlineargenerator unterschiedliche Kraftstoffe zum Einsatz kommen – von Benzin und Diesel über Ethanol und Erdgas bis hin zu Wasserstoff. Gleichzeitig lässt sich der FKLG je nach Geschwindigkeit und Fahrverhalten auf die optimale Betriebsstrategie ausrichten. „Konventionelle Antriebe fahren meistens nur in einem Lastpunkt besonders effizient, zum Beispiel auf der Autobahn bei einer Geschwindigkeit von 120 Kilometern pro Stunde“, erklärt Kock. „Im Gegensatz dazu arbeitet unser Antrieb konstant im Bestpunkt, egal welche Leistung gerade gefordert ist. Wir sind also immer möglichst effizient und umweltfreundlich unterwegs.“

Die DLR-Ingenieure rechnen mit einem sehr guten Wirkungsgrad für ein fahrzeugtaugliches Gesamtsystem einschließlich Leistungselektronik und Nebenaggregaten. „Damit sollten wir auf Augenhöhe mit den besten heute diskutierten Range-Extender-Konzepten auf Hubkolbenbasis in deren Bestpunkt liegen. Der große Vorteil ist jedoch, dass wir mit dem FKLG diesen Wert in einem viel breiteren Lastbereich erreichen können“, verdeutlicht Florian Kock ein entscheidendes Merkmal der neuen Antriebstechnologie.

Langer Atem bis zum „Proof-of-Concept“

In der mehrjährigen Entwicklungszeit bis zum ersten erfolgreichen Funktionstest im Dezember 2012 galt es, einige knifflige Fragen zu lösen, was wiederum die Grundlage für mehrere Dissertationen und studentische Arbeiten war. Da mit dem Freikolbenlineargenerator ein komplett neues Antriebskonzept umgesetzt werden sollte, mussten zunächst die drei Teilsysteme einzeln entwickelt, erprobt und optimiert werden. Auf Vorbilder konnten die Wissenschaftler dabei nur begrenzt zurückgreifen: Verbrennungsmotoren mit zwei Takten kommen in Schiffen, Panzern oder Zweirädern, wie Mopeds, zum Einsatz, wegen ihrer eher schlechten Emissionswerte bisher aber nicht im Automobilbereich. „Beim FKLG arbeiten wir deshalb mit einer Direkteinjection und elektromagnetischen Ventilen, um den Kraftstoff vollständig zu verbrennen. So werden wir Abgaswerte erreichen, die vergleichbar mit normalen Autos oder sogar besser sind“, erläutert Frank Rinderknecht. Der heutige Abteilungsleiter ist seit dem Projektstart dabei und untersuchte in seiner Promotion den Lineargenerator, den es für Kolbengeschwindigkeiten von bis zu sechs Metern pro Sekunde auszulegen galt. Auch die Gasfeder muss enormen Belastungen standhalten. Sie wird innerhalb einer Sekunde bis zu fünfzigmal zusammengepresst und wieder entspannt. Um die Luftmenge in der Gasfeder zu regeln, haben die Stuttgarter auf Know-how ihrer Kölner DLR-Kollegen vom Institut für Materialphysik im Weltraum zurückgegriffen und verwenden ein sehr schnell schaltendes Ventil, das ursprünglich entwickelt wurde, um Satelliten mit Treibstoff zu versorgen.

Im nächsten großen Schritt kombinierten die Forscher die drei Teilsysteme und programmierten die Steuerungssoftware. „Hier war besondere Präzision gefordert“, erklärt Alex Heron. „Denn die Regelung steuert die Bewegung des Kolbens bis auf

ein Zehntel eines Millimeters genau. Gleichzeitig erkennt sie Schwankungen im Verbrennungsprozess und gleicht diese aus.“ Bereits im Praxissemester lernte Heron das Projekt kennen und blieb – zunächst als Hilfwissenschaftler und nach Abschluss seines Studiums als wissenschaftlicher Mitarbeiter.

Ebenfalls speziell für das FKLG-Projekt bauten die Forscher einen in dieser Form weltweit einmaligen hydraulischen Motorenprüfstand auf. So konnten die drei Teilsysteme zunächst getrennt voneinander erprobt und jeweils mehrere hundert Betriebsstunden Erfahrung gesammelt werden. Zudem ermöglicht es der Prüfstand, die Funktion der einzelnen Teilsysteme durch hydraulische Antriebe nachzubilden. Neben Konstruktions- und Programmierarbeiten am Computer musste das Team vor allem beim Aufbau des Prüfstands auch kräftig in die Hände spucken. Zum Schutz vor sich eventuell verselbstständigenden Einzelteilen galt es, die Schallschutzkabine mit Panzerglasscheiben nachzurüsten – im ohnehin vollgestellten Labor eine Aktion, die allen Beteiligten lebhaft in Erinnerung blieb. Denn die mehrere hundert Kilogramm schweren Scheiben mussten von Hand an den richtigen Platz gerückt und montiert werden.

Brückentechnologie für mehr Elektromobilität

Schon während der Entwicklung gingen bei den Stuttgarter DLR-Forschern immer wieder Anfragen interessierter Unternehmen ein – allerdings verbunden mit der Bedingung, zunächst die Machbarkeit des Ansatzes zu beweisen. „Mit unserem Funktionsdemonstrator, den wir im Februar 2013 der Öffentlichkeit vorstellten, ist uns dieser Nachweis gelungen. Wir haben gezeigt, dass sich unser Prinzip des Freikolbenlineargenerators erfolgreich umsetzen lässt“, erläutert der Leiter des Instituts Prof. Dr. Horst E. Friedrich.

Als besonders effizient arbeitender Range-Extender ist der FKLG mehr als ein bloßes Notfall-Aggregat, um den Weg zur nächsten Elektro-Tankstelle zu überbrücken. Er macht es möglich, E-Autos mit einer wesentlich kleineren Batterie auszustatten und trotzdem die Vorzüge des elektrischen Fahrens bestmöglich zu nutzen. Kurze Strecken bis fünfzig Kilometer, zum Beispiel in der Innenstadt, können so weiterhin rein elektrisch gefahren werden. Bei längeren Distanzen übernimmt der Freikolbenlineargenerator und bietet die gewohnte Sicherheit und Unabhängigkeit eines Verbrennungsmotors. Ein durchaus erfolgversprechendes Szenario, wie die Stuttgarter Institutskollegen aus der Abteilung Fahrzeugsysteme und Technologiebewertung jüngst ermittelten. Sie rechnen damit, dass im Jahr 2040 mehr als 20 Prozent aller neu zugelassenen Fahrzeuge einen Range-Extender an Bord haben werden.

Im nächsten Schritt soll es deshalb nun darum gehen, gemeinsam mit der Industrie den Freikolbenlineargenerator weiterzuentwickeln und einen Prototyp zu bauen. Dazu hat das DLR einen Technologietransfervertrag mit der Universal Motor Corporation GmbH geschlossen und wird die weiteren Arbeiten wissenschaftlich begleiten. Unter anderem wollen die Ingenieure das Gewicht und die Größe so optimieren, dass ein oder mehrere Aggregate im Unterboden eines Wagens Platz finden. Auf diese Weise ließe sich eine zusätzliche Reichweite von rund 600 Kilometern realisieren, ohne das Fahrzeug schwerer zu machen. Potenzial für sein Antriebsaggregat sieht das FKLG-Team auch außerhalb der automobilen Welt: in der Luftfahrt als Hilfstriebwerk oder Auxiliary Power Unit ebenso wie in Blockheizkraftwerken – also als APU und in BHKWs, um noch einmal auf die etwas kryptischen Abkürzungen zum Thema FKLG zurückzukommen ... ●



Weitere Informationen:
www.DLR.de/FK

Das FKLG-Team:

Name	Frank Rinderknecht
Rolle	Abteilungsleiter
fährt privat	einen silbernen Opel Astra, zur Arbeit am liebsten Fahrrad
Name	Florian Kock
Rolle	Projektleiter
fährt privat	einen roten Mini
Name	Alex Heron
Rolle	Spezialist für Regelung und Steuerung
fährt privat	gar kein Auto, aber oft S-Bahn
Name	Roman Virsik
Rolle	Verbrennungsexperte
fährt privat	einen schwarzen Audi A3



Alles im Blick: Von der Schallschutzkabine aus steuert das Team den Freikolbenlineargenerator mittels einer speziellen Software

Meilensteine des FKLG-Projekts

- Projektstart, erste Patentanmeldungen und Computersimulationen
- Inbetriebnahme und Entwicklung einer weltweit einmaligen Prüfstandsinfrastruktur
- Systemtest von Gasfeder und Lineargenerator
- Realisierung der reproduzierbaren Zündung im Teilsystem Verbrennung
- Gesamtsystem läuft autark auf dem Prüfstand
- Öffentliche Vorstellung des FKLG im Februar 2013

Verkehrsforschung im Wüstensand

Tschad – ein Land mitten in Afrika. Knapp zehn Millionen Menschen leben hier, im Norden grenzt es an die extrem trockene Wüste Sahara an, im Süden gibt es Wälder. Tschad gilt als eines der ärmsten Länder der Welt. Eine Eisenbahn gibt es nicht. Das gesamte Netz asphaltierter Straßen besteht aus etwa 270 Kilometern – das entspricht etwa der Länge der Autobahn A14 von Potsdam nach Hamburg. Unterschiedlicher kann der Verkehr im Vergleich zu Deutschland kaum sein. Gleichwohl zieht Tschad das Interesse der DLR-Verkehrsforscher auf sich. Für ihre wissenschaftlichen Tätigkeiten besuchten die Berliner Verkehrsforscher im Februar 2013 N'Djamena, die Hauptstadt Tschads.

Melanie-Konstanze Wiese im Gespräch mit Professor Dr. Barbara Lenz, Leiterin des DLR-Instituts für Verkehrsforschung, über eine ganz andere Art von Mobilität

Was ist wissenschaftlich so reizvoll am Verkehr im Tschad?

Wir Verkehrsforscher sind natürlich nicht nur daran interessiert, wie sich der Verkehr in Deutschland gestaltet und zukünftig entwickeln wird. Wir haben hier ein dichtes Netz unterschiedlicher öffentlicher Verkehrsmittel. So wechseln wir ganz selbstverständlich, fahren mit der Bahn zum Arbeitsplatz, mit dem Auto zum Einkaufen und abends greifen wir gern auf das Taxi zurück. In Ländern wie Tschad ist das ganz anders: Einen regulären Busverkehr gibt es dort nur im Überlandverkehr. In den Städten fahren Minibusse und Motorradtaxis, die von privaten Kleinunternehmern geführt werden. Fixe Preisbindungen und einheitliche Fahrpläne gibt es nicht. Was für uns wie ein Abenteuer aussieht, ist dort gängiger Alltag. Und es funktioniert. Die Verkehrsforschung ist daran interessiert, alle Facetten des Verkehrs darzustellen. Wir wollen wissen, wie funktioniert ein solches System, in dem es fast ausschließlich informelle Angebote gibt. Welche Abhängigkeiten ergeben sich daraus?

Diese Verkehrssituationen gibt es auch in einigen anderen Ländern Afrikas und Südamerikas. Wieso fiel die Wahl gerade auf dieses Land?

Da spielte uns der Zufall in die Hände. Wir hatten einen Mitarbeiter aus dem Tschad bei uns in Berlin. Er stellte die ersten Kontakte zum Geographischen Institut der Universität in N'Djamena her. Der Austausch mit den dortigen Kollegen lief nun schon fast ein Jahr über Telefon und E-Mail. Im Februar war es an der Zeit, den persönlichen Kontakt zu suchen, um die Zusammenarbeit zu intensivieren.

Was haben Sie bei Ihrem Aufenthalt im Tschad erlebt oder gelernt?

Unsere Gastgeber der Universität haben uns sehr herzlich empfangen und uns führende Persönlichkeiten vorgestellt wie den Präsidenten und den Dekan der Universität, dazu wichtige Personen aus der Administration. Dadurch haben wir uns auch ein Bild von den nicht immer leichten Arbeitsbedingungen der Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler machen können, aber auch von verschiedenen Bemühungen im Land, die Lebensumstände für die Bevölkerung zu verbessern. Natürlich ging es bei den Gesprächen auch um die große Anzahl von Unfällen – eines der größten Probleme des Verkehrs in der Stadt. Besonders die schwachen Verkehrsteilnehmer wie Fußgänger und Motorradfahrer sind hier gefährdet.

Wie geht es nun weiter?

Wir stehen erst am Anfang. Wir haben Kontakte zu den Wissenschaftlern vor Ort geknüpft und haben uns ein erstes Bild vom Verkehrsgeschehen in N'Djamena gemacht. Wir möchten unter anderem in Zukunft einen gegenseitigen Austausch unserer Studenten realisieren. Das wäre eine sehr gute Sache, von der beide Institute profitieren. Wir können viel voneinander lernen. Für das DLR-Institut bietet sich dabei die Möglichkeit, internationalen Fragestellungen nachzugehen und die vorhandene Expertise zu ergänzen. ●

Mobilität in rasant wachsenden Städten

Wie in vielen anderen Städten im subsaharischen Afrika ist die Bevölkerungszahl in N'Djamena in den letzten Jahren rasant angestiegen. Während es 1960 noch keine Millionenstadt gab, lebten Mitte der Neunzigerjahre in etwa 100 Städten immerhin schon 100.000 Einwohner und mehr. Heute gibt es sogar eine ganze Reihe von Städten mit mehreren Millionen Einwohnern, darunter Lagos, Abidjan, Dakar, Nairobi oder Douala. Mit dem schnellen Wachstum dehnten sich die Stadtgebiete in ihrer Fläche immer weiter aus. Da öffentliche Nahverkehrssysteme nur unzureichend vorhanden sind, ergeben sich für die Bevölkerung in den sich neu entwickelnden Quartieren erhebliche Erreichbarkeitsprobleme. Nicht zuletzt bedeutet das fehlende öffentliche Verkehrsangebot und die großen Distanzen innerhalb der Städte für die Bewohner in den peripheren Quartieren, dass ihnen der Zugang zu Arbeit, Bildung und Versorgung erschwert wird oder sogar ausbleibt.

Über eine Million Menschen leben und bewegen sich auf den Straßen von N'Djamena. Öffentliche Nahverkehrssysteme gibt es aber kaum.



Weitere Informationen
www.DLR.de/VF

Kundschafter im freien Fall

2014 startet die japanische Sonde Hayabusa-2 zum Asteroiden 1999 JU 3. Mit an Bord ist der Asteroidenlander MASCOT. Im Jahr 2018 schließlich wird es für die Ingenieure des DLR spannend werden: Die Landeeinheit wird sich von der Muttersonde lösen, auf dem Asteroiden aufsetzen, sich hüpfend fortbewegen und erstmals Messungen auf einer Asteroidenoberfläche durchführen. Zuvor muss der Asteroidenkundschafter MASCOT allerdings in mehreren Tests beweisen, dass er die Reise durchs All und die Separation von Hayabusa-2 mühelos absolvieren wird. Das DLR-Magazin war dabei, als MASCOT deshalb in Bremen an ein und demselben Tag ins All startete und sich schon kurze Zeit später von der Muttersonde trennte. Im kleinen Rahmen, aber so nah an der Realität wie möglich.

Bewährungsprobe für den Asteroidenlander MASCOT

Von Manuela Braun

Der Blick im Inneren des Fallturms des Zentrums für angewandte Raumfahrttechnologie und Mikrogravitation (ZARM) der Universität Bremen geht 110 Meter in die Höhe. Irgendwo da oben, dort wird gleich die Kapsel hängen, mit der MASCOT im rasanten Tempo in Richtung Erde sausen und für einige Sekunden in den Zustand der Schwerelosigkeit versetzt wird. Nichts Geringeres als einer der entscheidendsten Momente der Lander-Mission wird in der mannshohen Metallkapsel geschehen: Der Auslösemechanismus wird MASCOT mit einem kleinen Schubser von der Muttersonde auswerfen, da die Anziehungskraft von Asteroid 1999 JU 3 nicht ausreicht, um den Lander aus der Sonde herauszuziehen. Christian Grimm vom DLR-Institut für Raumfahrtssysteme dreht ein kleines Teil aus schwarzem Plastik in seinen Händen. Er drückt auf das Verbindungsstück zwischen den beiden Plastikärmchen. Ein leises Klicken ist zu hören. „Eigentlich ist es nur eine ganz einfache Feder“, sagt der Testleiter. Eine Feder, von der allerdings abhängt, ob zum ersten Mal ein Landegerät auf einem Asteroiden aufsetzt und vor Ort die Daten misst, aus denen die Wissenschaftler mehr über diese Himmelskörper sowie über die Entstehungsgeschichte unseres Sonnensystems erfahren.

Schiefgehen könnte dabei einiges. MASCOT könnte sich zum Beispiel bei der Trennung von der japanischen Muttersonde Hayabusa-2 verkanten. Gleich beim ersten Test im Fallturm ist das passiert. Grimm lächelt und zuckt dabei mit den Schultern. Aus Pannen kann man nur lernen. Der zweite Testlauf am nächsten Tag war dafür dann umso besser, alles hat perfekt geklappt. Heute wird das Modell des schuhkartongroßen Landers wieder in den Zylinder gesteckt, um im freien Fall zur Erde zu rauschen.

Es ist ein kleines Team, das den Flug über dem Asteroiden simuliert. Testleiter Christian Grimm, Artur Hass, Maria Talapina und Christoph Freukes arbeiten ruhig und konzentriert. Sorgfältig vermessen Grimm und Hass den Lander. Mit seinen schwarzen Verstreibungen sieht er wie ein kleines Fachwerkhaus aus. Zahl um Zahl schreibt der Testleiter in eine Liste. Je genauer der Schwerpunkt des Modells berechnet ist, umso besser können die Testergebnisse mit den Computersimulationen abgeglichen werden. Grimm tippt gegen die schwarzen Leisten, die das Innere des Landers schützen. „Die könnte man natürlich auch aus Aluminium bauen – aber der Kohlefaserverbundstoff ist sehr viel leichter und trotzdem extrem stabil. Und bei diesem kompakten Landegerät kommt es auf jedes Gramm an.“ Gerade einmal 30 mal 30 mal 20 Zentimeter groß ist der Würfel, der vier Instrumente sicher auf die Asteroidenoberfläche bringen soll.

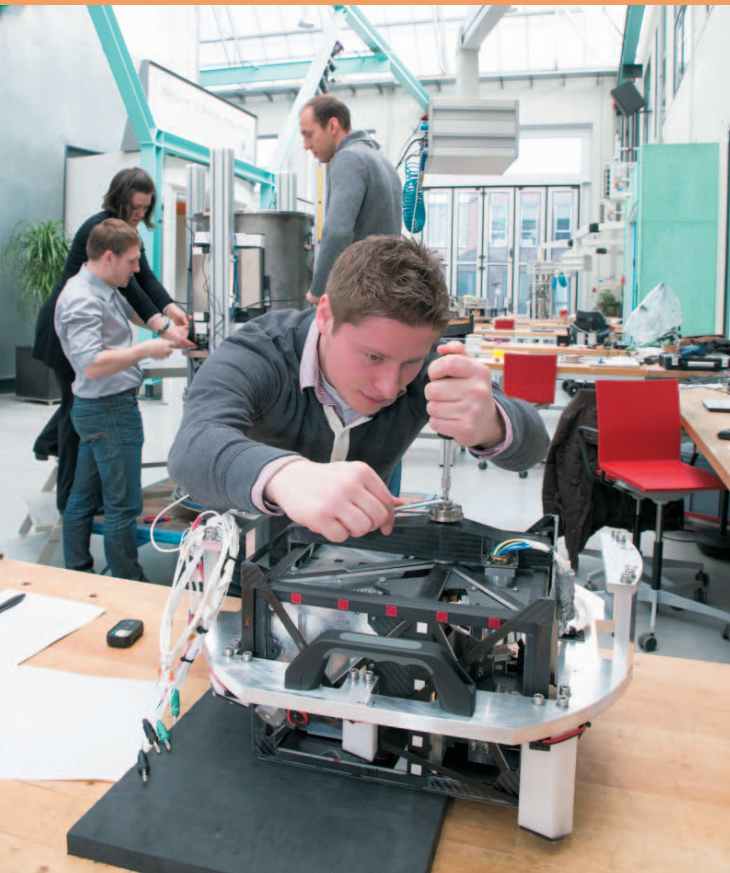
Unter strenger Beobachtung

In der Zwischenzeit bereiten Maria Talapina und Christoph Freukes die Kapsel vor. Unten im Metallbehälter sorgt eine Polsterung dafür, dass MASCOT beim plötzlichen Abbremsen nach dem rasanten Fall nicht beschädigt wird. Vier kleine Kameras werden während des Fluges durch die Schwerelosigkeit den Lander aus allen Richtungen im Auge behalten und aufzeichnen, was im Inneren der Kapsel geschieht. Zwei weitere Hochgeschwindigkeitskameras an der Außenseite des Zylinders übertragen zudem noch während des Falls erste Live-Aufnahmen auf die Bildschirme im Kontrollraum. Ganze Bündel von feinen Kabeln und Steckern schlängeln sich entlang der Außenseite des Zylinders. Christian Grimm und Artur Hass montieren die Haltestruktur auf den Lander. Im freien Fall wird dieser Teil die Raumsonde simulieren, von der MASCOT in 100 Meter Höhe ausgeworfen wird. „Kameras an!“

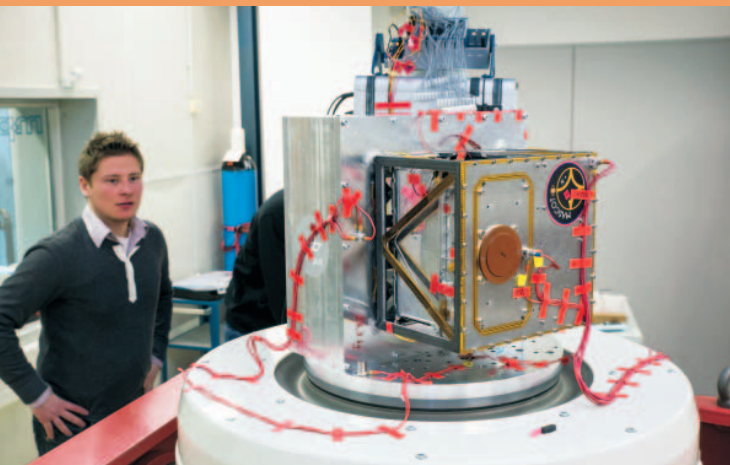
Alles ist vorbereitet. Acht Hände lassen den Asteroidenlander sanft in den Zylinder gleiten. Maria Talapina lässt den schweren Deckel am Flaschenzug nach unten schweben. Metall trifft auf Metall. Für die DLR-Ingenieure beginnen nun die letzten Handgriffe, bevor sie ihre wertvolle Fracht an die Mitarbeiter der Fallturm-Betriebsgesellschaft abgeben. Schraube um Schraube wird festgedreht. Auf den Bildschirmen sind die ersten Daten des Landers zu sehen. „Da stimmt was nicht“, ruft Freukes. Dann passiert es: Einer der Drähte außen am Zylinder reißt ab. Christian Grimm kramt in den Schubladen nach Werkzeug. Gemeinsam mit Artur Hass frickelt er sich durch die Kabelstränge zum beschädigten Draht vor. Die beiden haben vor ihrem Studium der Luft- und Raumfahrttechnik jeweils eine Ausbildung zum Elektroniker absolviert. Praxis, die jetzt dem Asteroidenlander zugutekommt. Für einen kurzen Moment ist die Stimmung angespannt. Der Test soll weitergehen, der defekte Draht hält alles auf. Zehn Minuten dauern die Reparaturarbeiten, dann ist der Zylinder bereit für die Übergabe.

Von jetzt an liegt das Schicksal von MASCOT in den Händen der Fallturm-Mitarbeiter Torsten Lutz und Dieter Bischoff. Die DLR-Ingenieure müssen sich daran gewöhnen, nicht eingreifen zu können: Wenn 2018 der Asteroidenlander auf 1999 JU 3 aufsetzt, ist der Weg für gefunkte Kommandos zu weit – dann muss MASCOT vollkommen autonom seine Mission durchführen. Von oben schwebt die metallene Hülle über den Zylinder. Auf einem Wagen rollen Lutz und Bischoff den Probanden in den Fallturm, verschließen die Kapsel und lassen sie an einer

Dem Aufstieg folgt der Fall. DLR-Ingenieure verfolgen den Weg des Metallzylinders, in dem der Asteroidenlander MASCOT aus 110 Meter Höhe zu Boden fallen soll.



Testleiter Christian Grimm bereitet den Asteroidenlander für den Test im Fallturm vor



Ob MASCOT die Belastungen eines Raketenstarts übersteht, beweist er auf dem Schütteltisch



Der Metallzylinder mit seinem wertvollen Inhalt wird aus einem Meer von Styroporkügelchen geborgen

Kette in die Höhe ziehen. Mit einem Brummen springen 18 gewaltige Pumpen an, die innerhalb von zwei Stunden im gesamten Turm ein Vakuum erzeugen. Kein Luftwiderstand soll den freien Fall zum Boden beeinträchtigen.

Startbedingungen auf dem Schütteltisch

Ein Gebäude weiter findet zur selben Zeit für ein weiteres Modell der Start in den Weltraum statt. Aus dem Raum, in dem MASCOT auf einem Schütteltisch befestigt ist, dringt ein undefinierbares Geräusch. Eine Mischung aus Knirschen und Kreischen tönt durch die Scheibe, vor der Olaf Mierheim mit seinem Team sitzt. Der Wissenschaftler des DLR-Instituts für Faserverbundleichtbau und Adaptronik lässt den Lander gerade den Start auf der Rakete erleben. Dazu muss MASCOT die Vibrationen der Triebwerke und die akustischen Vibrationen der Umgebung ertragen, ohne einen Schaden zu nehmen. Die Angaben, welche Belastungen beim Start auf MASCOT zukommen werden, haben die japanischen Kollegen der Weltraumagentur JAXA geliefert. Den Asteroidenlander erschüttern gerade die verschiedensten Frequenzen zur selben Zeit – Belastungen, die das Material an seine physischen Grenzen bringen. Testleiter Christian Grimm und Olaf Mierheim setzen sich dicke Kopfhörer auf und betreten den Raum mit dem Schütteltisch. Für einen kurzen Moment wird das unangenehme Geräusch lauter. Noch sieht MASCOT recht unbeeinträchtigt aus. Ob das Innenleben samt dem Schwungarm, der den Lander später zum Hüpfen bringen soll, tatsächlich ohne Schaden davongekommen ist, werden die beiden Kollegen gleich an den Frequenzbildern auf dem Monitor im Kontrollraum sehen. Alles sieht gut aus. Der nächste Testlauf kann vorbereitet werden.

Countdown für den Abwurf

Im Fallturm ist mittlerweile alles startklar für den entscheidenden Augenblick. Torsten Lutz sitzt im Kontrollraum an der Konsole. Auf dem großen Bildschirm ist die Kapsel in 110 Meter Höhe zu sehen. Christian Grimm und Artur Hass setzen sich an ihre Steuerkonsole. In den nächsten Sekunden wird für einen Moment lang der Weltraum in Bremen sein, während ein Asteroidenlander sich von der Muttersonde trennt und in Richtung Asteroid fällt. Projektleiterin Dr. Tra-Mi Ho ist ebenso in den Kontrollraum gekommen wie mehrere Mitarbeiter des MASCOT-Teams, um den Flug durch die Schwerelosigkeit zu verfolgen. Auch wenn jetzt keine Rakete startet – im Kontrollraum ist die Stimmung merklich angespannt. „3, 2, 1!“. Der Testleiter kündigt mit einem kurzen Countdown an, dass die Kapsel ihren Sturz beginnt. Ein schneller Druck auf den Startknopf, und auf der Leinwand saust die Kapsel mit 170 Kilometern in der Stunde zur Erde. 4,7 Sekunden später ist das Experiment vorbei. Der Zylinder rauscht in die acht Meter hohe Auffangröhre, in der Styroporkugeln den Fall abbremsen. „Das ist jetzt wie ein Autounfall“, sagt Fallturm-Mitarbeiter Torsten Lutz. Im Kontrollraum fällt die Spannung von den Ingenieuren ab. „Jawohl!“ Christian Grimm schlägt mit der flachen Hand auf den Tisch. Alle atmen auf. Schon die kurze Film-Sequenz aus dem Inneren der Kapsel hat gezeigt: Der Auslösemechanismus hat funktioniert. Im Weltraum würde MASCOT jetzt aus 100 Meter Höhe in Richtung Asteroid fallen.

Wie es allerdings im Inneren der Kapsel um MASCOT bestellt ist, weiß noch niemand. Nachdem wieder Luft in den Turm geströmt ist, öffnet Torsten Lutz die gewaltigen Türen. Über eine Metalltreppe geht es in acht Meter Höhe. Ein Meer aus Styroporkugeln bedeckt die Kapsel in der Auffangröhre. Kettenglied um Kettenglied wird langsam nach oben gezogen. Ein Wasserfall aus Styropor rieselt von dem Metallbehälter herunter, der langsam auftaucht. Mit einem Hochdruckbläser pustet Lutz die letzten Kügelchen von der Kapsel. Sobald die Fracht sicher geborgen und in Richtung Boden geschwebt ist, kann das DLR-Team seinen Asteroidenlander unter die Lupe nehmen.



Über Kamerabilder verfolgt das MASCOT-Team die Sekunden des Falls in Schwerelosigkeit



Spannung nach dem Test: Wie hat der Lander den Fall überstanden?

Trennung geglückt

Kurze Zeit später ist es so weit: Christian Grimm, Artur Hass, Maria Talapina und Christoph Freukes lösen die letzten Schrauben – und der Deckel gibt den Blick ins Innere frei. MASCOT ruht auf seinem Polster. „Er ist nach dem Abwurf ganz gerade nach unten gefallen“, freut sich der Testleiter. Auf dem Karo-Muster des Polsters liegt der Asteroidenlander vollkommen parallel zu den Karo-Linien. Mit sanfter Gewalt ziehen Grimm und Hass den Lander aus dem Zylinder. Ein Ratschen ist zu hören. Die Ingenieure mussten tricksen: Klettband an der Unterkante von MASCOT hat dafür gesorgt, dass der Asteroidenlander beim Aufprall nicht wieder aus der Polsterung gegen die obere Haltestruktur geschleudert wurde. „Das hätte er dann doch nicht ausgehalten.“ Langsam dreht der Testleiter den Würfel von links nach rechts. Acht Augen blicken skeptisch auf die Leichtbaustruktur. Nichts verbogen, nichts beschädigt? – Alle Verstreben an MASCOT sehen gut aus. Der Mechanismus zum Abwerfen des Landers hat funktioniert, der Asteroidenkundschafter hat den Test heil überstanden.

Im Weltraum würde es jetzt mit dem hoffentlich sanften Auftreffen auf der Asteroidenoberfläche weitergehen. Auf dem Asteroiden 1999 JU 3 herrscht gerade einmal ein 60.000stel der Erdanziehungskraft – die Landung ist eine Herausforderung.

Beteiligte am Asteroidenkundschafter MASCOT

Der Asteroidenlander MASCOT (Mobile Asteroid Surface Scout) wurde am DLR entwickelt. Mit der japanischen Mission Hayabusa-2 wird er 2018 am Asteroiden 1999 JU 3 ankommen, um den rund 4,5 Milliarden Jahre alten Himmelskörper mit knapp einem Kilometer Durchmesser zu untersuchen. An Bord des Landers sind ein Magnetometer (TU Braunschweig), ein Nah-Infrarot-Mikroskop für hyperspektrale Aufnahmen (IAS - CNES) sowie eine optische Weitwinkelkamera und ein Radiometer des DLR. Beteiligt an der Asteroidenlander-Mission sind seitens des DLR das Institut für Raumfahrtssysteme, das Institut für Faserverbundleichtbau und Adaptronik, das Robotik und Mechatronik Zentrum, das Institut für Planetenforschung sowie das Institut für Raumflugbetrieb.

Ist der Lander nur geringfügig zu schnell, prallt er von der Oberfläche ab und entschwindet ins Weltall. Läuft aber alles nach Plan, wird MASCOT mit seinen Sensoren prüfen, ob er auf der richtigen Seite gelandet ist und sich mit seinem Hüpfmechanismus aufrichten. Der Autonomie-Manager wird dann die wissenschaftlichen Instrumente in Betrieb setzen. Mit dem Hüpfmechanismus wird MASCOT dann in den nächsten 16 Stunden – zwei komplette Asteroidentage und -nächte – zu verschiedenen Messstellen springen. Zwischen 60 und 200 Meter weit werden diese Hüpfen über 1999 JU 3 reichen.

Auf der Erde allerdings heißt es für den Asteroidenlander: Nach dem Test ist vor dem Test. Noch einmal wird MASCOT durch die Schwerelosigkeit fallen und sich von der Muttersonde lösen. Ist das überstanden, kommt die nächste Prüfung: Übersteht er die extremen Temperaturen im Weltall? – Dafür wird es dann erneut ein Stückchen Weltraum in Bremen geben – dieses Mal in der Thermalvakuumkammer des DLR-Instituts für Raumfahrtssysteme. ●



Weitere Informationen:
<http://s.DLR.de/03g8>

Von einem, der auszog, den Wind zu fangen

Dr. Holger Hennings gehörte zu den Windkraft-Interessierten der ersten Stunde. Er hat verfolgt, wie das wissenschaftliche Großprojekt Growian scheiterte und die Windkraftanlagen dann doch einen überraschenden Siegeszug antraten. Heute arbeitet Hennings im DLR Göttingen daran, Windkraftanlagen betriebsicher und effizienter zu machen.

Holger Hennings – ein Mann mit Gefühl für Wind und Wissenschaft

Von Dorothee Bürkle



Das Gefühl für Wind und Wasser hat Holger Hennings aus seiner Kindheit im norddeutschen Dithmarschen. Windenergieanlagen richtig zu verstehen und zu verbessern, treibt den Ingenieur bis heute an.

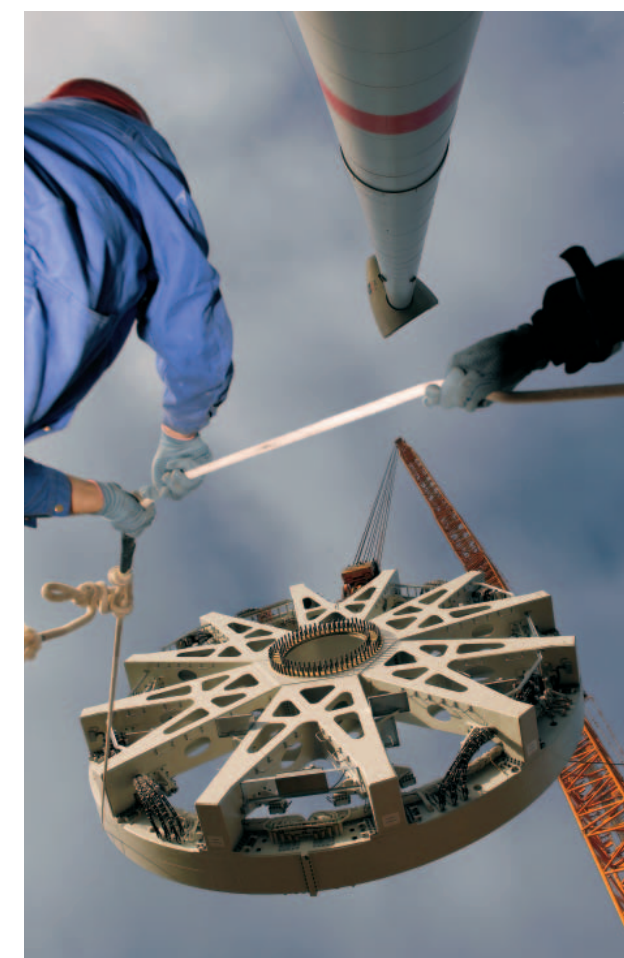


Bild: Enercon

Montage des Stators an einer Windkraftanlage: Windenergie ist heute eine wichtige Säule in der Stromerzeugung – mit Hightech-Anlagen von börsennotierten Unternehmen

„Das Gefühl für Wind und auch Wasser habe ich aus meiner Kindheit. Ich bin in Dithmarschen an der Nordseeküste aufgewachsen, elf Kilometer vom Deich entfernt“. Holger Hennings ist auf den ersten Blick ein ruhiger und besonnener Mensch, liebt die offene, klare Landschaft in Norddeutschland. Ab dem Alter von neun Jahren schon hatte er den Nordseewind beim Segeln um die Nase und genoss das Zusammenspiel von Wind und Wasser. Die Stromgewinnung mit der Kraft aus der Luft interessierte ihn bereits mit 14 Jahren. Bei einem Urlaub auf Sylt entdeckte er 1976 eine der Pionieranlagen des Flugzeugbau-Ingenieurs Hans-Dietrich Goslich. „Das war die Initialzündung – eine Anlage mit gegenläufigem Rotor, bis heute technisch eine Herausforderung“, erinnert sich der promovierte Maschinenbau-Ingenieur noch ganz genau. Hennings suchte Literatur über Windkraftanlagen und verschlang die wenigen Bücher, die es zur damaligen Zeit zum Thema erneuerbare Energien gab.

Pioniergeist und geplatzte Träume

Zur gleichen Zeit, Ende der Siebzigerjahre, planten Wissenschaftler im Forschungszentrum Jülich unter Führung des Forschungsministeriums den Bau der Groß-Windanlage „Growian“ – eine Reaktion auf den Ölpreisschock Anfang der Siebzigerjahre. 1983 wurde der Growian mit 100,4 Meter Rotordurchmesser und drei Megawatt Nennleistung im Kaiser-Wilhelm-Koog in Dithmarschen als weltweit größte Windenergieanlage in Betrieb genommen. Allerdings zeigte sich sehr schnell, dass eine derartige Größe mit der damaligen Technik nicht beherrschbar war. Growian erreichte nicht einmal einen dauerhaften Testbetrieb und wurde am Ende eher ein Argument gegen die Nutzung der Windenergie.

Aber nicht alle Unternehmer und Pioniere ließen sich abschrecken, erinnert sich Hennings. Zu dieser Zeit stellten ein paar deutsche Maschinenbau-Firmen Windenergieanlagen in überschaubarer Dimension her, darunter auch MAN. Das Unternehmen entwickelte parallel zum Growian den „AeroMAN“, eine mit zwölf Meter Rotordurchmesser deutlich kleinere Anlage, die in einigen hundert Exemplaren weltweit aufgebaut und erfolgreich betrieben wurde.



Weiterbildung in Sachen Windenergie anno 1984: Seminarteilnehmer in Vlotho testen eine umgebaute Lichtstrommaschine

Geschichte der DLR-Windenergieforschung

1959 Professor Ulrich Hütter wird Leiter der neu gegründeten Abteilung Angewandte Flugphysik bei der Deutschen Forschungs- und Versuchsanstalt für Luft- und Raumfahrt (DFVLR). Hütter, der als Vater der modernen Windanlagen gilt, hatte zuvor für die schwäbische Firma Allgaier Windkraftanlagen konstruiert. Unter seiner Leitung entstand 1956 in Stötten auf der Schwäbischen Alb das erste deutsche Testfeld für Windturbinen.

1974 Hütter wird nach dem Ölpreisschock von der Bundesregierung beauftragt, die Potenziale der Windkraft auszuloten.

1990 Das DLR beendet seine Aktivitäten in der Windenergieforschung am Standort Stuttgart. Diese Forschung sollte an anderen Einrichtungen in Norddeutschland ausgeweitet werden, unter anderem im Kaiser-Wilhelm-Koog bei Marne, dem Standort der Großwindanlage Growian.

2012 Das DLR beginnt Kooperationen mit IWES und Forwind, das Forschungsprojekt Merwind wird gestartet.

2013 Start des Forschungsprojekts „Smart Blade“



Windkraftanlage DEBRA 25 im Testfeld „Ulrich Hütter“ in Stötten/ Schnittlingen. Sie wurde am 13. Juli 1984 montiert und aufgestellt.

In der Zeit des Abiturs und während seiner Ausbildung zum Maschinenschlosser gehörte Hennings zu einer kleinen Gruppe von Windkraft-Enthusiasten. „Das waren Pioniere und es wurde viel experimentiert.“ Dieser Kreis sei damals sehr überschaubar gewesen; man kannte die zehn Anlagen, die zu dieser Zeit in Deutschland in Betrieb waren, aus eigener Anschauung. „Windenergieprojekte wurden aus einer Nische heraus betrieben und – ja, viele ihrer Anhänger kamen aus der sogenannten Öko-Ecke.“ Als verhaltene Aufbruchsstimmung beschreibt Hennings das Gefühl der Windpioniere: „Alle Beteiligten waren sich sicher, dass man mit Wind signifikante Mengen an Strom erzeugen kann. Von Netzbetreiberseite hingegen gab es Bedenken, dass bei einer Einspeisung von drei Prozent Windenergie bereits Netzinstabilitäten auftreten könnten.“

Hennings verfolgt die Entwicklung genau: Ein Landwirt im nordfriesischen Cecilienkoog, der sich 1983 eine Anlage des dänischen Windkraftanlagen-Herstellers Vestas kauft, ist der erste, der als privater Erzeuger Windstrom ins schleswig-holsteinische Netz einspeist. Ein Meilenstein! „Dass es dann bis heute eine derartig explodierende Entwicklung geben würde, war in den Achtzigerjahren natürlich keinem der Beteiligten klar.“

Holger Hennings studiert Maschinenbau an der TU Braunschweig, besucht die Vorlesung zur Aeroelastik bei Professor Försching vom DLR Göttingen und schreibt 1990 seine Diplomarbeit zum Thema Schwingungen an Windkraftanlagen in dessen Institut für Aeroelastik. Für vier Monate kommt er dafür zum DLR in die Studentenstadt. Da Zimmer dort rar sind, bietet das DLR seinen Diplomanden eine Unterkunft an, direkt auf dem DLR-Campus. Das „Turmzimmer“ im ersten Stockwerk, die Dusche im Keller, die Toilette auf dem Flur. Hennings genießt die Freiheit, die ihm die Forschung und die Nähe zu seinem Arbeitsplatz bieten: „Das war die effektivste Zeit meines Lebens. Es war unheimlich interessant, so viel Anregungen und Hilfen von erfahrenen Wissenschaftlern zu bekommen. Ich habe innerhalb der Schwingungslehre neue rechnerische Verfahren auf Daten von Windanlagen angewendet, die ich vorher höchstens annäherungsweise in der Theorie verstanden hatte.“

Zur selben Zeit beendet das DLR sein Engagement in der Windenergieforschung. Dennoch entscheidet sich Hennings, beim DLR in Göttingen zu bleiben und in der Aeroelastik weiterzuarbeiten. Er gehört der Gruppe zur Erforschung der Aeroelastik von Turbomaschinen an und promoviert. Weitere Stationen im Institut für Aeroelastik sind die Leitung der Abteilung für Aeroelastische Experimente und seit Ende 2012 die Leitung der Abteilung Aeroelastische Simulation.

„Ich habe sehr viel über Strukturmechanik, stationäre Aerodynamik, Aeroelastik und deren Modellierung gelernt und immer neuen Input von erfahrenen Kollegen erhalten“, blickt er auf seine inzwischen zwei Jahrzehnte im DLR zurück. Diese Erfahrung des intensiven Austauschs möchte er an die jüngeren Mitarbeiter weitergeben und freut sich über die Diskussionskultur, die sich vor der Wandtafel und rund um die Stehtische in der Kaffeeküche etabliert hat. Glücklicherweise macht ihn auch seine Familie mit seiner Frau und den drei Töchtern, die mit ihm zusammen das Lebensumfeld in Göttingen als ideal empfinden.

Das Geschehen in Sachen Windenergie verfolgt Holger Hennings nach seinem Eintritt ins DLR weiter und fährt als Privatperson zu Tagungen und Konferenzen. 1990, drei Jahre nach dem Abriss von Growian, wird in der Windenergieszene begeistert über ein Stromeinspeisungsgesetz diskutiert. Von der damaligen Bundesregierung wird es noch im selben Jahr verabschiedet und tritt am 1. Januar 1991 in Kraft. „Dieses Gesetz, ein Vorläufer des EEG, bedeutete für die Betreiber von Windkraftanlagen zum ersten Mal die garantierte Stromabnahme zu einem bestimmten Preis. Das war der entscheidende Durchbruch“, erinnert sich Hennings. 16,61 Pfennig mussten die



Diskussionskultur am Institut für Aeroelastik: Holger Hennings liegt viel am intensiven Austausch mit jüngeren Mitarbeitern

Energieversorger für jede Kilowattstunde eingespeisten Windstrom bezahlen. Im Windenergiebereich tätige Investoren und Unternehmer erhielten mit diesem Gesetz endlich eine gewisse Planungssicherheit. Unter ihnen war auch Aloys Wobben, der 1984 mit einer Teilzeitkraft in seiner Garage angefangen hatte, Windanlagen zu konstruieren. Heute zählt das von ihm gegründete Unternehmen Enercon mit einem Milliardenumsatz zu den Top Fünf des Weltmarkts.

Know-how aus der Luftfahrt für Windenergieprojekte

Inzwischen hat die Windenergie in Deutschland einen Anteil am Nettostromverbrauch von über zehn Prozent, und Holger Hennings nimmt jetzt wieder beruflich an Tagungen und Konferenzen teil. Seit 2012 forscht das DLR erneut zum Thema Windenergie. Das Institut und die Abteilung von Holger Hennings sind bei diesen Forschungsprojekten dabei, denn im Fachgebiet Aeroelastik können die Wissenschaftler viel aus der Luftfahrtforschung in die Windenergieforschung übertragen. Hennings wird im Alter von 50 Jahren doch noch zum Windenergieforscher. „Was uns in diesem Forschungsgebiet auszeichnet und auch für Kooperationspartner attraktiv macht, sind unser Know-how und gute Werkzeuge aus der Luftfahrt.“

Holger Hennings erinnert sich an ein Video über eine Leichtbau-Anlage aus dem Jahr 1987, das ihm eindrücklich zeigte, wie wichtig ein tiefes Verständnis für die Aeroelastik ist. Zunächst läuft darin die Anlage stabil, man sieht, wie der Rotor sich dreht. Dann fehlt der Anlage – von einem Bild auf das andere – ein Rotorblatt. „Damals hieß es, die Anlage habe ein Stabilitätsproblem gehabt. Wenn ich das Video heute betrachte, ist klar: Das war Flattern. Offenbar konnte man das damals noch nicht richtig verstehen.“

Verstehen und Verbessern, das treibt den Ingenieur in der Windenergieforschung und in der Luftfahrt an. Als Leiter der Abteilung für Aeroelastische Simulation untersucht Hennings das Flattern vor allem an Hubschrauberrotoren. Flattern ist ein Mechanismus, bei dem die Blattschwingungen von den bewegungsinduzierten Luftkräften verstärkt werden; im Extremfall so stark, dass das Rotorblatt bricht. Mit seiner Erfahrung bei Hubschrauberrotoren simuliert der Ingenieur nun das Schwingungsverhalten von großen Rotorblättern. „Bei den heutigen Windanlagen ist

ein Bruch des Rotorblatts aufgrund von Flattern ausgeschlossen. Aber der Trend geht zu größeren und schlankeren Anlagen. Hier müssen die Hersteller damit rechnen, dass diese Phänomene wieder auftreten.“ In seinem Fachgebiet Aeroelastik untersucht Hennings sowohl experimentell als auch numerisch, wie ein Rotorblatt schwingt. Außerdem beobachtet er als Aerodynamiker, welche Luftbewegungen er durch das Rotorblatt anregt. „Um Flattern richtig zu verstehen, müssen Sie die beiden Komplexe Strukturdynamik und Aerodynamik sehr genau kennen. Wenn wir auftretendes Flattern vermeiden wollen, müssen wir mindestens einen der beiden Komplexe am Rotorblatt verändern.“

Vom idealen Rotorblatt sind die Anlagenhersteller noch weit entfernt, glaubt Hennings. Wie die meisten Experten geht er davon aus, dass Rotorblätter in der Zukunft leichter werden und sich mit aktiven Elementen dem Wind anpassen können. „Allerdings bedeuten aktive Elemente im Rotorblatt wiederum mehr Wartungsaufwand und sie vermindern nicht die Flattergefahr“, warnt Hennings. An dieser Stelle sieht er noch viel Forschungsbedarf.

„Vielleicht habe ich ein bisschen etwas verpasst, vor allem wenn man beobachtet, wie die Firmen von Personen der ersten Stunde immer größer und besser werden“, blickt Hennings zurück. Als Ingenieur ist er ein analytischer Mensch und hat bereits abgewogen: „Aber das ist kein prinzipielles Problem für mich. Ich habe in meinem Fachgebiet mit vielen inspirierenden Wissenschaftlern zusammengearbeitet und habe selber Ansätze einbringen und Ideen umsetzen können.“ – Und er kann seine Erfahrungen und Erkenntnisse an ein wissbegieriges und aufgeschlossenes Umfeld weitergeben. ●

Weitere Informationen:



<http://s.DLR.de/08j6>



<http://s.DLR.de/t6jr>

Walja und dann lange keine

Von Rolf-Michael Simon

Ein Weib käme ihm nicht mehr ins All, soll Sergej Pawlowitsch Koroljow, Chefkonstrukteur sowjetischer Weltraumraketen, nach der Landung geknurrte haben. Mit ihrer Leistung im All war er nicht zufrieden. Und doch schrieb dieser Flug Geschichte: Die erste Raumfahlerin aller Zeiten war im All – Walentina Tereschkowa. Vor 50 Jahren, am 16. Juni 1963, startete sie zu ihrem historischen Flug. Und es sollten viele Jahre vergehen, bis wieder eine Frau in den Weltraum flog.

Der erste Satellit im All, der erste Hund, der erste Mensch ... da war es nur folgerichtig, dass die Sowjets auch die erste Frau in den Orbit brachten. Letzteres hätte nicht sein müssen; die NASA tat sich noch schwer, Amerikanerinnen eine Chance zu geben. Den als „Mercury 13“ in die Geschichte eingegangenen Anwärtinnen wurde 1962 der Zugang zum All verwehrt. Und so musste die westliche Welt im damaligen Weltraum-Wettlauf der Systeme ein weiteres Mal zurückstehen.

Nach dem erfolgreichen Erstflug von Juri Gagarin im April 1961 war die Idee, eine Frau ins All fliegen zu lassen, in der UdSSR diskutiert worden. Sie wurde realisiert. „Walja“ Tereschkowa war Anfang 1962 mit vier weiteren Frauen ausgesucht worden und galt ihrer proletarischen Herkunft wegen als besonders würdig, die erste Kosmonautin zu werden. Bei ihrem Start mit Wostok 6 war sie erst 26, zehn Jahre jünger als Gordon Cooper, der Benjamin unter den amerikanischen Mercury-Astronauten. Und wenn sie auch in knapp drei Tagen – das war mehr als alle vorherigen NASA-Missionen zusammen – 48 Erdumkreisungen absolvierte, der wissenschaftliche Wert ihrer Mission blieb umstritten. Der propagandistische Wert zu Zeiten des Kalten Kriegs war dagegen enorm, wieder einmal. Kreml-Chef Chruschtschow, der alte Polterer, konnte seine Favoritin „Walja“ dem dekadenten Klassenfeind im Westen als Nr. 1 präsentieren.

In der bundesrepublikanischen Öffentlichkeit fand der Pionier-Flug nicht die ganz große Beachtung. Hier stand im Juni 1963 der Staatsbesuch von US-Präsident John F. Kennedy im Mittelpunkt von Medien und Massen. Anders in der DDR, wo jedes Schulkind Walentina kannte.

Zurück an den Himmel. Der blieb in der Sowjetunion bis 1982 Männersache, was bis heute befremdlich anmutet. Aber für die alten Männer im Kreml gab's keine propagandistische Notwendigkeit mehr, Frauen eine Chance zu geben. Fraglich, ob es je dazu gekommen wäre, hätte nicht die NASA in den Siebzigerjahren die weibliche Seite der Raumfahrt doch noch entdeckt und Anwärtinnen für das Shuttle-Programm nominiert. Doch die Sowjet-Raumfahrt schaffte es, nochmals die Nase vorn zu haben. 1982 flog Svetlana Savitskaya mit Leonid Popow und Alexander Serebrow zur Raumstation Salut 7 und setzte zwei Jahre später eins drauf: 1984 war sie als erste Frau zum zweiten Mal im All und absolvierte, ebenfalls als erste, einen Außenbordeinsatz. Es dauerte, verstehe wer will, weitere zehn Jahre, bis Jelena Kondakowa als dritte Kosmonautin flog. Dann war Schluss in Russland – bis heute.

Inzwischen aber hatte Amerika eine beeindruckende gesellschaftliche, speziell auch technische Entwicklung genommen, angetrieben durch den Erfolg des Mondprogramms der Sechzigerjahre. 1983 flog Sally Ride als erste Amerikanerin ins All – und ihr folgten nicht Einzelne, Dutzende. – Frauen im All? Keine Frage mehr, selbstverständlich! So war Eileen Collins 2005 Commander der Raumfähre „Discovery“ bei der „Return-to-Flight-Mission“ STS 114, der ersten nach dem Columbia-Absturz. Und so wurde 2007 Shuttle-Commander Pam Melroy von ISS-Commander Peggy Whitson an Bord der Raumstation begrüßt. Die NASA machte die Raumfahrt endlich doch noch weiblich.

Europa hielt sich zurück. Gezwungenermaßen wohl, denn noch gab es keine eigenen bemannten Flüge ins All. Die Britin Helen Sharman war 1991 die Erste, gefolgt von der Französin Claudie Haigneré. Nr. 3 sollte die Italienerin Samantha Christoforetti werden. Und deutsche Astronautinnen? Da war doch mal was ... – richtig. In den Achtzigerjahren (!) absolvierten Renate Brümmer und Heike Walpot erfolgreich eine Astronauten-Ausbildung. Aber ihr Traum vom All blieb ein Traum. Jammerschade für sie – und eine verpasste Chance für Deutschland und Europa. ●



Briefmarke zu Ehren von Walentina Wladimirowna Tereschkowa, in ihrem Heimatland auch liebevoll Walja genannt. Ihr Rufname während des Raumfluges lautete „Tschaika“, zu Deutsch: Möwe.

Walentina Tereschkowa als keramisches Wandmosaik der Grundschule Mellingen in Thüringen

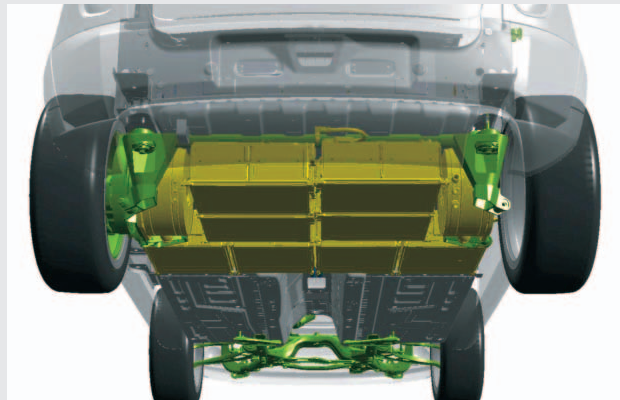
Bild: BrThomas at de.wikipedia

Regionalmeldungen

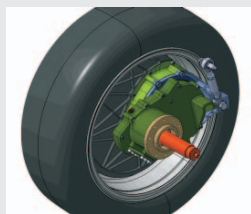
Oberpfaffenhofen: Elektroauto mit Antrieb im Rad

Kann man ein Elektroauto auch ganz anders bauen als auf Basis eines herkömmlichen Serienmodells? DLR-Forscher untersuchten, wie sich ein Teil des Antriebsstrangs ins Rad verlagern lässt. Für das Projekt FAIR (Fahrwerk/Antrieb-Integration ins Rad), das von der BMW Group Forschung und Technik geleitet und in Kooperation mit dem Automobilzulieferer Schaeffler realisiert wurde, fand im April 2013 in Aschheim bei München die Abschlusspräsentation statt. Dabei wurde den bayerischen Fördergeldgebern der Prototyp einer mechatronischen Achse vorgestellt.

Zuvor waren sogenannte In-Wheel-Varianten, bei denen Fahrwerks- und Antriebskomponenten in das Rad integriert sind, untersucht worden. Wissenschaftler des DLR-Instituts Systemdynamik und Regelungstechnik in Oberpfaffenhofen entwickelten Methoden und Rechnerwerkzeuge, um das fahrdynamische Verhalten zu bewerten und zu optimieren. Das vielversprechendste Konzept wurde ausgewählt und die Funktionsfähigkeit unter Beweis gestellt. Schaeffler stellte dafür zwei In-Wheel-Radmodule her, BMW baute mit der mechatronischen Achse einen Demonstrator auf. Dieser zeigt die großen Vorteile des Konzepts: Der elektrische Antrieb liegt an der Hinterachse. Die dort beim Bremsen anfallende Energie wird vollständig wiedergewonnen. Damit kann die mechanische Reibbremse hinten entfallen. Die Batterie ist kaum sichtbar unter dem Kofferraum zwischen den angetriebenen Rädern der Hinterachse untergebracht. Das neuartige Getriebe vereint die elementaren Fahrwerksfunktionen Antrieb, Radführung und Federung des Fahrzeugs und erlaubt es, Elektromotoren an der Fahrzeugkarosserie anzubringen – ohne die herkömmlichen sperrigen Gelenkwellen. So konnte sichergestellt werden, dass trotz hoher Antriebsleistung das Gewicht eines kompletten Hinterrads gegenüber dem entsprechenden Serienfahrzeug nicht zunahm.



Ein vollkommen neuartiges In-Wheel-Getriebe ermöglicht die radnahe, aber karosseriefeste Anbringung der Elektromotoren und übernimmt die Radführung und Aufbaufederung gleich mit



<http://s.DLR.de/j031>



Braunschweig: Plattform für intelligente Zuginformation

Eine intelligente Informationsplattform soll Bahnfahren einfacher machen. In Zusammenarbeit des DLR, des Landes Niedersachsen und des Zugerherstellers ALSTOM werden bis Ende 2014 zwei Millionen Euro investiert. Ziel der „Intelligenten und innovativen Reise- und Maintenance-Informationsplattform“ (IRMI) ist es, die Kommunikation zwischen Zug, Station, Betreiber und Wartungspunkt zu verbessern. IRMI ermöglicht Zustands- oder Positionsdaten des Schienen- und öffentlichen Nahverkehrs präzise zu erfassen und in Echtzeit zu verarbeiten. Für Reisende hat das den Vorteil, dass durch aktuelle Informationen, beispielsweise über Verspätungen, automatisch individuelle Weiterreisemöglichkeiten per Bus oder Bahn ermittelt werden. Auch Logistiker und Betreiber der Bahn profitieren von dem Projekt. Zum einen werden durch eine individuelle Fahrzeugzuführung und das entsprechende Instandhaltungsmanagement Kosten verringert. Zum anderen dienen die erzeugten Daten zugleich als Basis für eine vorausschauende Wartung.



Wie weiter mit Bus oder Bahn, wenn der Zug Verspätung hat? Im DLR Braunschweig wird an einer intelligenten Informationsplattform gearbeitet, die das Bahnfahren erleichtern soll.

<http://s.DLR.de/7206>

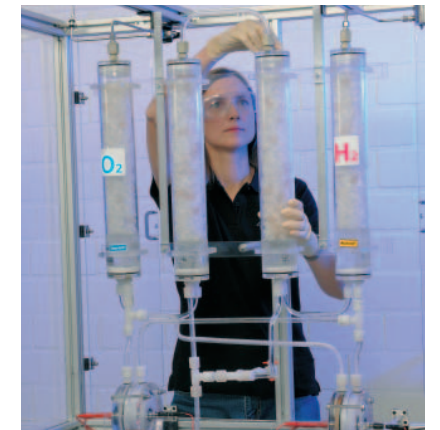


Wasserstoff aus Windenergie erstmals im Erdgasnetz

In der Umwandlung von Windstrom in Wasserstoff sehen viele Experten eine Möglichkeit, überschüssige Windenergie zu speichern. Mit einem vom DLR weiterentwickelten PEM-Verfahren (PEM: Protonen-Austausch-Membran) kann Wasserstoff sehr viel flexibler und effizienter als bisher hergestellt werden. Mit dieser Technologie realisiert die E.ON Hanse AG in Hamburg nun eine Power-to-Gas-Anlage, die Wasserstoff im Großmaßstab in ein Erdgasnetz einspeisen soll.

In den kommenden Jahren wollen die Wissenschaftler die Herstellungskosten der PEM-Elektrolyseure senken, indem sie bislang verwendete teure Materialien wie Titan durch beschichteten Edelstahl ersetzen. Ziel der Projektpartner ist es, die PEM-Technologie für den großtechnischen Einsatz weiterzuentwickeln. Power-to-Gas-Anlagen können so zu einer Brücke zwischen den Strom- und Gasnetzen werden.

<http://s.DLR.de/3it4>



Teststand für im DLR entwickelte Elektroden zur Wasserelektrolyse

Drittes Weltraumwetter Summer Camp in Neustrelitz



Empfangsstationen für nationale und internationale Fernerkundungssatelliten sowie für wissenschaftliche Kleinsatelliten im DLR Neustrelitz

Jeweils zehn Studierende aus Deutschland und den USA erhalten in diesem Jahr wieder einen umfassenden Einblick in die aktuelle Weltraumwetterforschung. Zum Weltraumwetter Summer Camp 2013 erwarten die University of Alabama in Huntsville, die Universität Rostock, das Leibniz-Institut für Atmosphärenphysik, Kühlungsborn, und das DLR in Neustrelitz Studierende aus den Bereichen Mathematik, Physik, Informatik oder Ingenieurwissenschaften. Zwei der vier Programm-Wochen finden in den USA (22. Juli bis 4. August 2013) und zwei in Deutschland (4. bis 17. August 2013) statt. Besuche in Forschungseinrichtungen ergänzen das Theorie-Programm und geben einen Einblick in den Alltag der Weltraumwetterforschung.

<http://s.DLR.de/28t4>



Zentrum für Robotik und Mechatronik in neuem Haus

Im DLR in Oberpfaffenhofen ist im April 2013 der Grundstein für das Gebäude des Robotik und Mechatronik Zentrums (RMC) gelegt worden. Das RMC ist weltweit eines der größten und bedeutendsten Forschungszentren für angewandte Automation und Robotik. Mit dem neuen Gebäude entsteht nun die notwendige Infrastruktur für das Cluster, das aus insgesamt drei DLR-Instituten besteht.

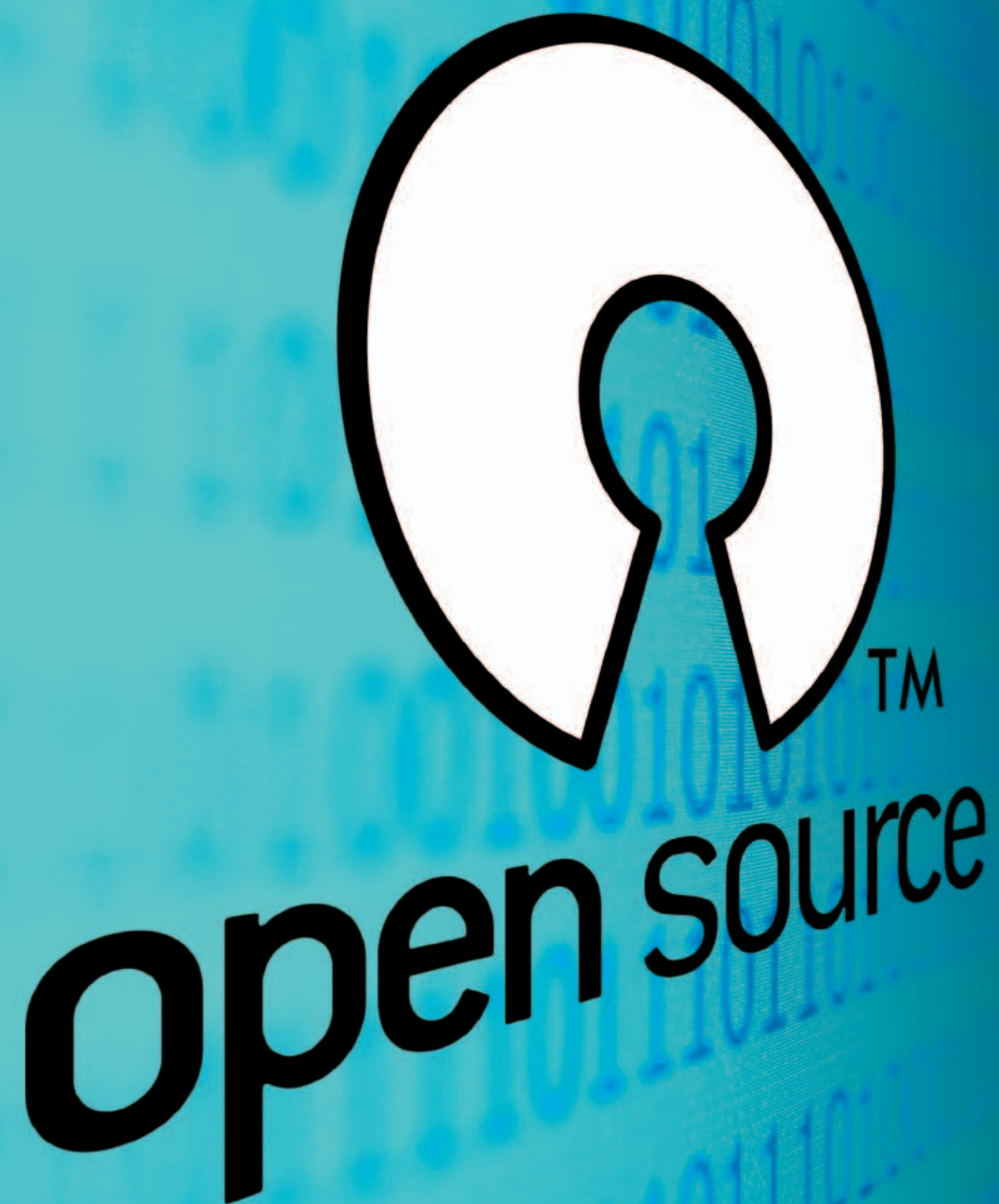
Das neue Gebäude soll für die rund 300 RMC-Mitarbeiter in Oberpfaffenhofen eine gemeinsame Arbeitsumgebung schaffen. Auf drei Hauptgeschossen und einem Untergeschoss befinden sich Technikflächen und Labore, die flexible Nutzungsinstallationen erlauben, und günstig angebundene Büro- und Besprechungsräume sowie begehbare Innenhöfe für informelle Treffen.

Im Sinne des Ausbaus der bestehenden Forschungsaktivitäten wird zudem ein gemeinsames Labor mit der europäischen Raumfahrtagentur ESA eingerichtet. Dies schafft am Standort einen weiteren Baustein für das nationale sowie internationale Kompetenz-Netzwerk. Die Heimstatt des RMC soll bis Ende 2014 fertiggestellt werden.

<http://s.DLR.de/6ogj>



Bei der Grundsteinlegung im DLR Oberpfaffenhofen wurde die mit den traditionellen „Gaben“ befüllte Kartusche vom Polier eingebettet



Software mit offenen Quellen

Nichts geht ohne sie. Software ist allgegenwärtig. In Forschung und Entwicklung allemal. Sei es, wenn physikalische Vorgänge im Rechner nachgestellt werden sollen, technische Systeme zu steuern beziehungsweise zu regeln sind oder Daten verarbeitet und visualisiert werden müssen. Kein Forschungsgebiet kommt umhin, Software zu nutzen, immer häufiger ist für spezielle Fragestellungen eigene Software zu entwickeln. Dabei wächst die Rolle von Open-Source-Software. Was es damit auf sich hat, warum ihre Nutzung wie auch ihre Entwicklung im DLR ein Wachstumssektor ist, beschreibt dieser Beitrag aus der DLR-Einrichtung Simulations- und Softwaretechnik.

Open-Source-Software fördert Innovationen auf allen DLR-Forschungsgebieten

Von Andreas Schreiber



In der DLR-Einrichtung Simulations- und Softwaretechnik entstehen Softwarelösungen für verschiedene Anwendungsgebiete. So verfügen auch die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter über unterschiedliche Spezialkenntnisse. Dr. Martin Siggel ist Physiker, Andreas Schreiber Technomathematiker und Doreen Seider Informatikerin (v.l.n.r.).

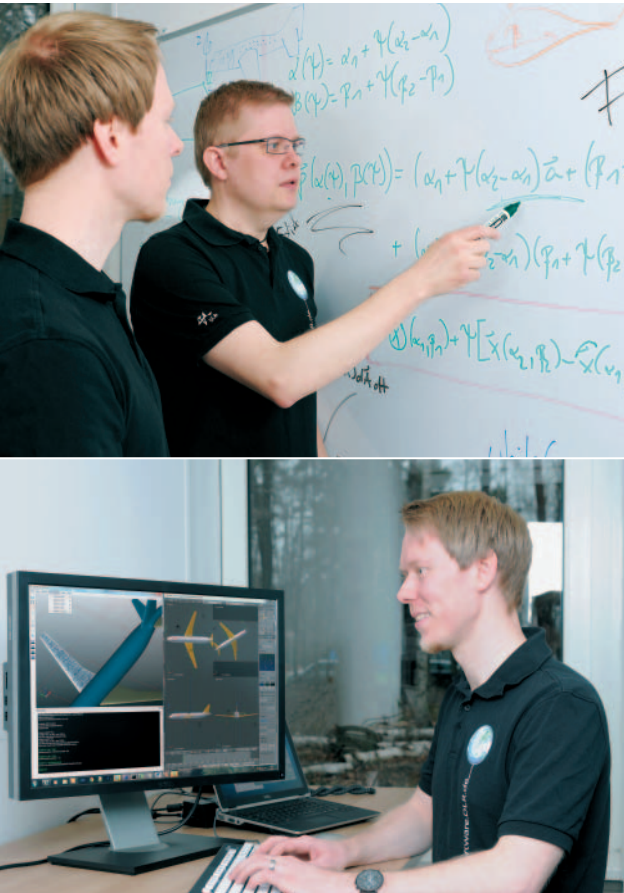
Computer sind aus der DLR-Forschung und -Entwicklung nicht wegzudenken. Die darauf laufende Software entscheidet beispielsweise über den Erfolg von Raumfahrtmissionen, sie muss meist echtzeitfähig und in ein übergeordnetes technisches System eingebettet sein. Auch effiziente Codes, vor allem Simulationsalgorithmen, die hohen Anforderungen an ihre Performance genügen müssen, sind gefragt. Software, die bei komplexen Anwendungen oder im Umgang mit umfangreichen Datenbeständen unterstützt, wird benötigt. Und Systeme mit vielen Benutzern, meist Internet- oder Intranet-Anwendungen, haben Konjunktur.

In fast allen Instituten des DLR wird Software entwickelt. Der Umfang der einzelnen Software-Pakete variiert dabei von kleinsten Entwicklungen, die etwa durch Studenten erstellt werden, bis hin zu sehr großen Softwaresystemen, die gemeinsam mit Partnern aus Forschung und Industrie über viele Jahre erarbeitet werden. Während früher in der Regel ein Großteil der Software komplett neu erstellt wurde, wird heutzutage häufig existierende Software als Grundlage genommen. Sie wird entweder kommerziell gekauft oder sie steht – immer häufiger – frei verfügbar und quelloffen als „Open Source“ zur Verfügung.

Was ist Open-Source-Software?

Für jede Software, gleichgültig ob kommerziell oder frei, gelten genau definierte Lizenzbestimmungen. Diese regeln die Rechte zum Nutzen und Verbreiten der Software. Die Lizenzbestimmungen sind vom Urheber, also dem Entwickler der Software festgelegt und dürfen in der Regel nicht geändert werden. Eine Software wird dann als „Open-Source-Software“ bezeichnet, wenn der Anwender mehr Rechte hat als bei kommerzieller Software üblich. Diese zusätzlichen Rechte bestehen darin, die Software nach Belieben weiterzugeben, die Quelltexte zu bekommen, die Software zu verändern und in veränderter Form weiterzugeben sowie sie für jeden Zweck einzusetzen.

Es gibt gute Gründe, die dafür sprechen, Software als Open Source zu nutzen oder auch bereitzustellen, seien sie wirtschaftlicher, organisatorischer oder qualitätsbezogener Natur. Beispielsweise können sich viele Personen, Firmen und Organisationseinheiten an der Entwicklung der Software beteiligen und so den Aufwand teilen. Dabei profitiert jeder von der Entwicklungsarbeit der anderen. Die Anwender einer Open-Source-Software sind nicht abhängig von einer bestimmten Firma. Möchte man



Auf gemeinsamer Lösungssuche am White Board und individuell am Personal Computer

die Software speziell anpassen, kann man dies zum Beispiel selbst machen oder Dritte damit beauftragen. Open-Source-Software darf in der Regel beliebig oft vervielfältigt und auf Rechnern installiert werden. So lassen sich Lizenzkosten sparen. Und schließlich kann man den Quelltext der Software einsehen. Dies ist sinnvoll zum Begutachten von Qualität und Wartbarkeit der Software. Außerdem können durch Analyse des Quelltextes Sicherheitsprobleme in der Software erkannt werden.

Nutzung von Open Source im DLR

Im DLR werden verschiedene Open-Source-Entwicklungen eingesetzt. Sie werden dabei entweder unverändert als eigenständige Software einfach nur genutzt oder als Teil eines größeren Systems mit weiterer Software verwendet. So ein größeres Software-System kann dabei auch aus einer Mischung von Open-Source-Software, kommerzieller Software und selbst entwickelten Programmen bestehen. Häufig wird Open-Source-Software im DLR als reine Anwendungssoftware verwendet, beispielsweise zum Visualisieren, Analysieren oder Editieren von Daten. Neben Anwendungssoftware wird in der Forschung häufig das freie Betriebssystem Linux als Betriebssystem für Desktop-Computer und Server verwendet.

Oft wird aber Open-Source-Software auch als Grundlage für DLR-eigene Software-Entwicklungen genutzt, zum Beispiel Datenbanken oder Bibliotheken mit mathematisch-technischen Funktionen. Fast allen Software-Entwicklungen ist dabei gemeinsam, dass durch die konsequente Nutzung frei erhältlicher Open-Source-Software der Entwicklungsaufwand deutlich reduziert wird. Fälle, in denen nur noch zehn Prozent neu programmiert werden, sind keine Seltenheit. Viele Software-Systeme des DLR profitieren von der Stabilität der vielfach getesteten Open-Source-Software und deren ständiger Weiterentwicklung. Und so ist Open-Source-Software eine wichtige Kerntechnologie für viele Entwicklungen des DLR geworden.

Allerdings müssen die Entwickler stets das Lizenzrecht beachten. Auch wenn sie beim Benutzen von Open-Source-Software sehr weitreichende Rechte haben, gibt es dennoch Regeln, die sie nicht verletzen dürfen. Beispielsweise ist bei bestimmten Arten von Open-Source-Software der Quelltext mitzuliefern, wenn die Software an andere Personen oder Organisationen weitergegeben wird. Werden die Lizenzbedingungen verletzt, so kann das juristische Konsequenzen haben, beispielsweise Schadensersatzforderungen der ursprünglichen Entwickler. Aus diesen Gründen bieten die Einrichtung Simulations- und Softwaretechnik und das Technologiemarketing im DLR Schulungen zum Open-Source-Lizenzrecht an.

Open Source als Innovationstreiber

Der Einsatz von Open-Source-Software im DLR fördert auch die Innovationsfähigkeit des DLR selbst. Wenn bereits existierende Open-Source-Entwicklungen in eigene Entwicklungen einbezogen werden, so können sich die Entwickler im DLR auf die eigentlich spannenden innovativen Teile ihrer Software konzentrieren. Sicherheit und das Potenzial zur Weiterentwicklung der Open-Source-Software ist hierfür ein entscheidendes Qualitätskriterium. Auch Unabhängigkeit und Anpassbarkeit sind wichtige Aspekte, um unbeeinflusst von Firmen und deren Produktpolitik eigene Entwicklungen vorantreiben zu können.

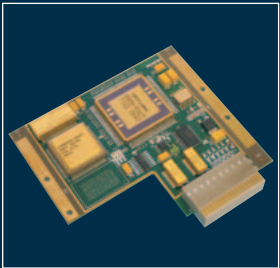
Neben der Nutzung freier Software stellt das DLR viele eigene Entwicklungen als Open-Source-Software der Allgemeinheit zur Verfügung oder beteiligt sich aktiv an der Weiterentwicklung existierender Open-Source-Software. Die Allgemeinheit kann so von den hochwertigen Software-Entwicklungen des DLR profitieren. Kooperationspartner können die Software ohne lizenzrechtlichen Aufwand und ohne zusätzliche Kosten nutzen. Dies ist sinnvoll, wenn zum Beispiel Universitäten die DLR-Software für ihre Lehre einsetzen möchten oder wenn sie gemeinsam mit dem DLR an komplexen Aufgaben arbeiten.

Doch auch das DLR profitiert davon, dass DLR-Software als Open Source zur Verfügung gestellt wird. Mit Open Source lässt sich ein hoher Verbreitungsgrad der Software erreichen. Die eigene Software kann sich auf diese Weise als Standard-Software in einem bestimmten Forschungs- und Entwicklungsgebiet etablieren. Eine Open-Source-Software, die von vielen anderen Wissenschaftlern beziehungsweise Organisationen genutzt wird, erhöht den Bekanntheitsgrad des DLR. Dadurch steigen die Chancen auf Beteiligung an Projekten. Zusätzlich wird in vielen Projektkooperationen oder auch von Geldgebern von vornherein gefordert, dass die eingebrachte Software eine Open-Source-Software ist. Zudem ist die Aussicht, an spannenden Open-Source-Entwicklungen beteiligt zu sein, für viele Softwareentwickler sehr reizvoll, was ganz im Sinne des DLR-Personalmarketings ist. ●

Autor:
Andreas Schreiber leitet in der DLR-Einrichtung Simulations- und Softwaretechnik die Abteilung Verteilte Systeme und Komponentensoftware.



Weitere Informationen:
www.DLR.de/SC



Open-Source-Projekt RODOS

RODOS ist ein Echtzeit-Betriebssystem für eingebettete Systeme in der Raumfahrt. Es wurde für Raumfahrtsysteme entwickelt, die hohe Anforderungen an die Zuverlässigkeit haben, zum Beispiel für Raumfahrzeuge zum Landen auf fremden Planeten beziehungsweise Kometen oder für Satelliten.

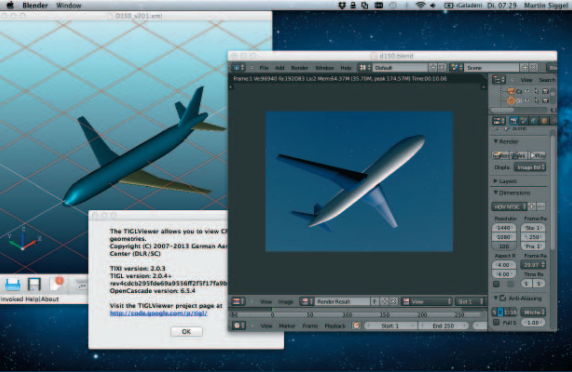
Institut für Raumfahrtsysteme, Bremen



Open-Source-Projekt SUMO

SUMO (Simulation of Urban MObility) ist ein Simulationswerkzeug aus dem Verkehrsbereich, mit dem durch Eingabe verschiedener Parameter deren Auswirkungen auf den Verkehrsfluss detailliert untersucht werden können. Es bildet den Straßenverkehr virtuell ab und bezieht dabei auch Verkehrsnachfrage und Verkehrssteuerungsinfrastruktur ein.

Institut für Verkehrssystemtechnik, Berlin



Open-Source-Projekt TIGL

TIGL ist eine Geometrie-Bibliothek aus dem Bereich Luftfahrt, die aus parametrischen Beschreibungen von Flugzeugkomponenten geometrische Objekte für die Visualisierung erzeugt. Sie wird insbesondere zum Visualisieren von zukünftigen Flugzeugkonzepten eingesetzt.

Simulations- und Softwaretechnik, Köln-Porz

Katalog verfügbarer Software

Eine Übersicht über Software, die im DLR entwickelt wird, bietet das Web-Portal **software.DLR.de**. Dieses Portal ist der Software-Katalog des DLR. Dort werden sämtliche Software-Entwicklungen des DLR aufgelistet. Es finden sich dort sowohl Open-Source-Entwicklungen als auch nicht öffentliche und nicht freie Software-Entwicklungen. Die Entwickler des DLR können selbst entscheiden, ob ihre Software öffentlich sichtbar sein soll oder nur intern für DLR-Mitarbeiter zu finden ist. Entwickler können vor Beginn einer Entwicklung dort nach bereits existierender Software suchen, welche die eigenen Anforderungen schon erfüllt.



Bis kein Stück mehr fehlt

Einmal Mars komplett und in Stereo – fast! Noch weist die globale Darstellung des Mars Lücken auf. In einer Mollweide-Projektion, benannt nach dem Leipziger Mathematiker und Astronom Carl Brandan Mollweide (1774 bis 1825), kann man sie gut erkennen. Sämtliche verwertbaren Bildstreifen, die mit dem senkrecht auf den Mars gerichteten Nadirkanal des Stereo-Kamerasystems HRSC der Weltraumsonde Mars Express aufgenommen wurden, projizierten die Wissenschaftler dazu auf eine elliptische Kartenfläche, bei der die Breitenkreise als horizontale Geraden und die Meridiane als Ellipsen dargestellt werden. Aus gestalterischen Gründen wurden die „monochromen“ (Schwarz-Weiß-) Bildstreifen mit einer Farbe belegt, die annähernd der Realität auf dem Mars entspricht. Durch Dunst und Staub in der Atmosphäre haben nicht alle Aufnahmen dieselbe Qualität: Viele Gebiete wurden auch mehrfach, aus unterschiedlicher Höhe und bei variablem Sonnenstand aufgenommen, daher die Unterschiede in Kontrast und Helligkeit.

Die gemeinsam mit der deutschen Industrie gebaute Hochleistungskamera (HRSC – High Resolution Stereo Camera) wird vom DLR-Institut für Planetenforschung betrieben. Dort werden die einzelnen Aufnahmen geplant und die Bilddaten dann systematisch verarbeitet. Anschließend werden sie den mehr als 50 Wissenschaftlern aus Europa, den USA und Japan sowie deren Mitarbeitern zugänglich gemacht und für die Datenarchive von ESA und NASA vorbereitet. Auch die Leitung des Wissenschaftsteams ist in Berlin angesiedelt, und zwar an der Freien Universität.

Die HRSC sorgte buchstäblich für ein „neues Bild vom Nachbarn Mars“: Das besondere an der Kamera ist ihre Fähigkeit, die Oberfläche des Planeten durch neun quer zur Flugrichtung angeordnete Sensoren unter verschiedenen Winkeln „abzutasten“. Aus den so gescannten Bilddaten lassen sich nicht nur großräumige Aufnahmen mit bis zu zehn Meter Auflösung gewinnen, sondern auch Farbbilder und vor allem digitale Geländemodelle der Marsoberfläche ableiten – eine globale topografische Kartierung mit Stereo-Bilddaten gab es zuvor von keinem Planeten.

Am 2. Juni 2013, zehn Jahre nach dem Start, hat Mars Express fast 12.000-mal den Mars umrundet. In mehr als 3.500 Orbits war die HRSC angeschaltet. Bis zum Ende der ersten Planetenmission der Europäischen Weltraumorganisation ESA in einer elliptischen, polaren Marsumlaufbahn werden dann auch die letzten Lücken in der HRSC-Marskarte geschlossen sein. ●

Ulrich Köhler



Weitere Informationen:
www.DLR.de/Mars

Aus dem Messwagen auf die Datenautobahn

Fünf Satellitenschüsseln lauschen am Standort Neustrelitz ins All, folgen den Überflugbahnen der Satelliten und empfangen die Daten, aus denen kurze Zeit später beispielsweise Klima-Analysen oder Karten von Katastrophengebieten werden. Die nachrichtentechnischen Wurzeln für diese Arbeit entstanden vor 100 Jahren: Damals begann das Telegraphen-Versuchsamt der Deutschen Reichspost mit der Erforschung elektromagnetischer Wellen im mecklenburgischen Strelitz. Im folgenden Jahrhundert wechselten die Institutionen am Standort – gleich blieb aber über die Jahre eines: In Neustrelitz drehte sich schon immer alles um die Wellenausbreitung und ihre Nutzung.

Empfangsbereit – von der Strelitzer Versuchsfunkstelle zum DLR-Standort Neustrelitz

Von Manuela Braun

Aller Anfang ist schwer. „Zur Aufnahme der Sendeeinrichtungen diente ein Holzschuppen“, beschreibt die Mitteilung Nr. IX des Telegraphen-Versuchsamts die bescheidenen Anfänge am heutigen DLR-Standort. „Eine Empfangsstation war in einem Zelt untergebracht, das mit dem Sendeschuppen durch eine Fernsprech- und Tastleitung verbunden war.“ 1913 waren die elektromagnetischen Wellen und ihre Ausbreitung bei Weitem noch nicht ausreichend erforscht – schließlich hatte Heinrich Hertz ihre Existenz erst 1886 entdeckt und dann bewiesen, dass diese von einem Sender zu einem Empfänger übertragen werden können. Dass ausgerechnet Neustrelitz als Ort für die Versuchsfunkstelle ausgewählt wurde, hatte profane und ziemlich handfeste Gründe: nämlich Sümpfe, Seen und Dünen. Man wollte Fortpflanzungsgeschwindigkeiten an der Erdoberfläche, Antennenformen, Gegensprecheinrichtungen und atmosphärische Störungen untersuchen – und dafür bot sich das abwechslungsreiche Gelände als Herausforderung an.

Sendetest von Strelitz nach Swinemünde

Wo heute mehrere Parabol-Spiegel in Richtung Satelliten blicken, wurde unter anderem eine Antenne aus zwei Sendedrähten von 268 Meter Länge auf Telegrafentangen aufgestellt. Im Oktober 1913 sendet die Versuchsfunkstelle Strelitz, und im gut 100 Kilometer entfernten Swinemünde schlägt ein Galvanometer aus. Sauerlich aufgelistet verkündet die Mitteilung des Telegraphen-Versuchsamts Datum, Uhrzeit, Antennenbreite und

die beobachtete Empfangsstärke. 1914 wurden die Versuche fortgesetzt – die Sendeanenne saß jetzt auf einem 40 Meter hohen Holzmast. Um atmosphärische Störungen zu beobachten, wurden zwei Drähte von 1.250 Meter Länge auf Telegrafentangen verlegt. „Es war eine Pionierzeit“, sagt Roland Reimer, langjähriger Mitarbeiter des DLR Neustrelitz und Leiter des Vereins „Geschichte der Strelitzer Empfangsstation.“ Er sammelt Dokumente und Fotos aus den Anfangszeiten des heutigen DLR-Standorts. Auf den wenigen historischen Aufnahmen sind die Pioniere in Anzug und mit Krawatte zu sehen. Die meisten Versuche sind reine Grundlagenforschung – und finden mit dem Ersten Weltkrieg ein Ende. Statt für die Forschung wird die Versuchsfunkstelle nun für die technische Ausbildung in der Funkerabteilung der Kaiserlichen Armee genutzt. 1917 wird sie in das Netzwerk der Heimatfunkstellen des Deutschen Reichs aufgenommen.

1919 übernimmt das Telegraphen-Versuchsamt wieder die Versuchsfunkstelle. Leiter wird der Telegrafentechnische Reichsamt Walter Naether, der schon in Berlin die Funkwellen erforscht und untersucht hatte. Das Telegraphentechnische Reichsamt übernimmt die Einrichtung. Verstärkt untersuchen die Wissenschaftler in ihren Holzbaracken, wie die Atmosphäre Einfluss auf die elektromagnetischen Wellen nimmt. 1921 misst Neustrelitz zeitgleich mit der „Drahtlostelegraphischen und Luftelektrischen Versuchsstation Gräfelting“ – einer Vorläufereinrichtung des DLR Oberpfaffenhofen. Beide Messungen ergeben übereinstimmende Störungen, die aus der Atmosphäre stammen müssen. Es entsteht ein Forschungsgebiet, das auch heute noch mit der Ionosphärenforschung und dem Weltraumwetter zu den Schwerpunkten des Standorts gehört.

Mit dem Messwagen durch Europa

Historische Aufnahmen zeigen weitere Forschungseinsätze der Versuchsfunkstelle: Pferde ziehen 1934 den ersten Messwagen „Emil“ zu seinem Einsatzort. Instrumente und ein Kanonenofen zum Heizen sind jetzt mobil und können an unterschiedlichen Orten eingesetzt werden. Im Hintergrund ist zu sehen, wie die Einrichtung wächst. Vier bis zu 40 Meter hohe Holztürme mit Langdrahtantennen ragen über dem Sumpf- und Sandgebiet in den Himmel; das Messhaus wird erstmals massiv gebaut und hat einen richtigen Keller. Später wird der alte „Emil“ durch einen neuen Messwagen, einen Mercedes, ersetzt, der mit eigenem Antrieb zu Messfahrten nach Süddeutschland, Polen, Italien oder auch Österreich unterwegs ist.

Moderne Parabol-Antennen am DLR-Standort Neustrelitz empfangen die Daten von Fernerkundungssatelliten und wissenschaftlichen Kleinsatelliten



Bescheidene Anfänge: In den ersten Jahren führten die Ingenieure ihre Sende- und Empfangsversuche in Holzbaracken durch

Bild: privat



Bild: privat

1941 löste ein Mercedes-Messbus den von Pferden gezogenen Messwagen „Emil“ ab

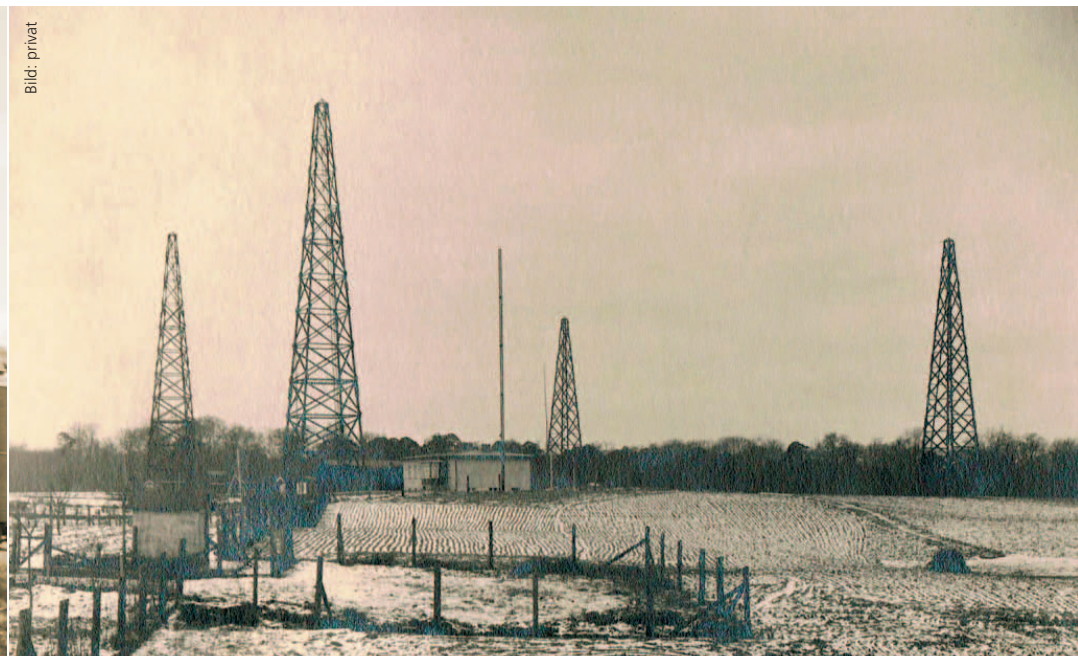


Bild: privat

Die Versuchsfunkstelle Strelitz Mitte der Dreißigerjahre: Über die bis zu 40 Meter hohen Holztürme wurden Langdrahtantennen gespannt. Die bisherige Holzbaracke wurde durch ein massives Messhaus mit Keller ersetzt.



Heute empfangen die Neustrelitzer Parabol-Antennen die Daten von über 7.000 Satellitenüberflügen im Jahr. Jeder einzelne von ihnen wird von den DLR-Mitarbeitern überwacht.

Noch sind die Ergebnisse der Geschichtsforschung nicht vollständig: „Aus den vielen Jahren haben wir zurzeit noch wenige Dokumente“, bedauert Vereinsleiter Reimer. Bis 1945 erprobten die Wissenschaftler Funkpeil-Systeme und betrieben eine Anlage zur Frequenzüberwachung.

Wellen aus dem Weltall

1947 übernimmt die Akademie der Wissenschaften der DDR die Einrichtung in Neustrelitz. Aus der Versuchsfunkstelle wird nun eine Außenstelle des Berliner Heinrich-Hertz-Instituts für Schwingungsforschung. Die Schwerpunkte: Untersuchungen zur Dynamik und Struktur der Ionosphäre und ihre Auswirkung auf elektromagnetische Wellen sowie Experimente auf dem Gebiet der solaren Radioastronomie. Als dann am 4. Oktober 1957 die Sowjetunion den ersten Satelliten ins Weltall startet, werden letztendlich auch die Weichen für die neue Außenstelle gestellt – die Raumfahrt-Epoche beginnt. Zehn Jahre später, 1967, wird zwischen den Regierungen der Sowjetunion und weiteren sozialistischen Ländern das Interkosmos-Programm ins Leben gerufen, ein „Abkommen über die Beteiligung an der Erforschung und Nutzung des Weltraumes mit Hilfe von künstlichen Erdsatelliten zu friedlichen Zwecken“. Mit dem Beitritt der DDR zum Abkommen ist klar: Eine Bodenstation zum Empfang von Satellitendaten würde erforderlich sein. Die Wahl fällt auf Neustrelitz – und ein neues Aufgabengebiet kommt auf die Außenstelle zu. Die Infrastruktur für den Empfang von Satellitendaten wird aufgebaut. Am 14. Oktober 1969 geschieht es dann zum ersten Mal: In der Satellitenempfangsstation Neustrelitz lauschen die Wissenschaftler erstmals den Wellen aus dem Weltall. Der Interkosmos-Satellit IK-1 sendet Daten eines Instruments, und Neustrelitz hört zu.

Die nächsten Missionen folgen Schlag auf Schlag: IK-10, Explorer 22, Explorer 27, Solrad 9, 10 und 11, ATS-3 und ATS-6, SIRIO, ETS, OTS oder auch der europäische Wettersatellit METEOSAT-1. Die Menge an Satellitendaten sorgt dafür, dass die Bodenstation mitwachsen muss – sowohl personell als auch technologisch. Auf Lochstreifen werden die wichtigen Daten gespeichert. Die Anfänge für das heutige Bodensegment am DLR-Standort Neustrelitz sind gemacht. Noch heute zeugt eine

sogenannte Kreuz-Yagi-Antenne zwischen all den Parabol-Antennen auf dem Gelände des Standorts davon, dass in Neustrelitz die Daten der Interkosmos-Projekte aus dem Weltall gehört wurden. Technologie von damals und die von heute stehen Seite an Seite. Mit der Wende und der Übernahme in das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt im Jahr 1992 wird aus der Außenstelle die Fachabteilung „Fernerkundungsstation Neustrelitz“ des Deutschen Fernerkundungsdaten zentrums (DFD).

Antennenbewegungen wie von Geisterhand

Heute lauschen die Parabol-Antennen am DLR-Standort mit ihren 7,3-Meter-Schüsseln auf über 7.000 Satellitenüberflüge im Jahr. Wie von Geisterhand bewegen sich die Schüsseln auf dem Gelände aus ihrer Ruheposition und richten sich für jeden Überflug auf den Horizont aus. „Unsere Antennen fahren zunächst auf die Position am Horizont, an der ein Satellit erwartet wird“, erläutert Holger Maass, Abteilungsleiter für das „Nationale Bodensegment“ im DLR. Per Auto-Tracking folgen die Antennen dann autonom der Satellitenbahn. In den knapp zehn Minuten Sichtbarkeit des Satelliten sendet dieser die gespeicherten Daten zum Boden. Mittlerweile kreisen zwölf Satelliten um die Erde, deren Daten in Neustrelitz empfangen werden. Die Radarsatelliten TerraSAR-X und TanDEM-X des DLR, indische Erdbeobachtungssatelliten wie der Resourcesat, die amerikanischen Satelliten Terra und Aqua, Landsat-8 der NASA, der wissenschaftliche TET-Satellit zur Erprobung von Technologien oder auch GRACE 1 und 2 – das Spektrum reicht von Fernerkundungssatelliten bis zu wissenschaftlichen Kleinsatelliten. Rund um die Uhr überwachen Mitarbeiter den Datenempfang. Neben dem „Nationalen Bodensegment“ des DLR forschen und arbeiten unter anderem auch Arbeitsgruppen des Instituts für Kommunikation und Navigation sowie des Instituts für Methodik der Fernerkundung des DLR in Neustrelitz.

Allerdings: Die Lochstreifen haben seit Langem ausgedient. Im vollautomatischen Roboterarchiv werden die Daten aus dem Weltall auf modernsten Medien gespeichert – nahezu in Echtzeit. Ältere Daten werden zusätzlich auf neue Speichermedien übertragen. „Keiner bringt es übers Herz, solche Daten

zu löschen“, sagt Maass. Momentan sind insgesamt 650 Terabyte (TB) an Daten im Archiv; bis zu 15 Petabyte können es werden. „Diese Daten sind eine Art Kulturgut“, sagt Maass. „Und alle sind einmalige Schnappschüsse, die unwiederholbar sind.“ Mittlerweile können mit diesem Geschichtsbuch der Satellitendaten sogar Langzeitbetrachtungen durchgeführt werden, die beispielsweise zeigen, wie die Abholzung von Wäldern voranschreitet oder das Klima sich ändert.

Datenauswertungen nahezu in Echtzeit

Auch das Tempo hat sich im vergangenen Jahrhundert geändert: „Manche Nutzer der Satellitendaten möchten bereits 15 Minuten nach dem Empfang die verarbeiteten Produkte erhalten.“ Wie zum Beispiel die European Maritime Safety Agency in Lissabon, die unter anderem Ölverschmutzungen oder Schiffsrouten mit den Satellitendaten beobachtet. „Das ist eine wirkliche Herausforderung für uns.“ Statt lediglich Rohdaten zu empfangen und weiterzuleiten, werden die Daten zunehmend zu aussagekräftigen Informationsprodukten verarbeitet.

Als die Ingenieure der Versuchsfunkstelle vor 100 Jahren in ihrem Holzschuppen den elektromagnetischen Wellen lauschten, hätten sie sich wohl kaum vorstellen können, was heute in dem Gebiet mit Sümpfen, Seen und Sand geschieht. Gerade einmal bis Swinemünde – gut 100 Kilometer – reichte das Signal, das 1913 getestet wurde. Heute richtet sich die neueste Antenne in Neustrelitz auf den „Sonnenwächter“ aus – einen Satelliten, der 1,5 Millionen Kilometer entfernt die Sonnenaktivitäten beobachtet. Von Sonnenauf- bis Sonnenuntergang empfängt die Neustrelitzer Antenne kontinuierlich die Daten. „Vor 100 Jahren sind in Neustrelitz die Wurzeln dafür entstanden, dass wir heute eine Datenautobahn zum Weltall betreiben.“ ●



Weitere Informationen:
<http://s.DLR.de/u54n>

TerraSAR-X

deutscher Erdbeobachtungssatellit, der vom DLR gesteuert und betrieben wird; mit einem Radarsensor erfasst er genaue Daten von der Oberfläche der Erde

TanDEM-X

deutscher Erdbeobachtungssatellit, der mit TerraSAR-X im Formationsflug Daten für ein dreidimensionales Modell der Erdoberfläche liefert

Resourcesat

indischer Erdbeobachtungssatellit, der unter anderem Informationen zur Überwachung von Wasserressourcen und Landnutzung bereitstellt

Terra

amerikanischer Erdbeobachtungssatellit der NASA, der mit fünf Instrumenten unter anderem Daten zur Verschmutzung der Atmosphäre und zur Wolkenbeschaffenheit erfasst

Aqua

amerikanischer Erdbeobachtungssatellit, der in einer gemeinsamen Mission mit dem Satelliten Terra fliegt; er misst unter anderem die Verdunstung und die Temperatur von Wasser sowie die Fläche von Meer- und Landeis

Landsat-8

amerikanischer Erdbeobachtungssatellit, der zu einer ganzen Reihe von Landsat-Satelliten der Fernerkundung der Erdoberfläche und der Küstenregionen dient

TET-Satellit

deutscher Technologie-Erprobungsträger, mit dem Batterie- und Solarzellen, ein Antrieb für Kleinsatelliten, ein Infrarot-Kamerasystem, elektronische Bauteile, Software und ein Sensor-Bus-System im Weltraum getestet werden

GRACE 1 und 2

das Gemeinschaftsprojekt der NASA und des DLR vermisst präzise das Schwerfeld der Erde und liefert Daten zur Verteilung von Masse in und auf der Erde

ACE-„Sonnenwächter“

der amerikanische Satellit Advanced Composition Explorer beobachtet kontinuierlich das Weltraumwetter mit seinen Sonnenwinden und -stürmen



Störungen unerwünscht!

Der große Moment fand am 12. März 2013 statt: Zum ersten Mal wurde vom Boden aus eine Ortsbestimmung mit den Galileo-Satelliten durchgeführt. Vier kreisen zurzeit in 23.222 Kilometer Höhe um die Erde und senden ihre Signale zu uns. Im Herbst sollen zwei weitere Galileo-Satelliten ins All starten. Die Genauigkeit der ersten Positionsbestimmung lag bei zehn Metern – für die exakte Navigation natürlich nicht ausreichend, für den Anfang mit der bisherigen minimalen Satellitenanzahl aber ein sehr guter Wert. Doch die Satellitensignale der Navigationssysteme sind störanfällig, egal, ob es Signale des europäischen Galileo- oder des amerikanischen GPS-Navigationssystems sind. Das DLR-Institut für Kommunikation und Navigation in Oberpfaffenhofen forscht daran, Verfälschungen und Störungen vorherzusagen und Gegenmaßnahmen zu finden.

Oberstes Gebot der Satellitennavigation: die Signalgenauigkeit

Von Manuela Braun



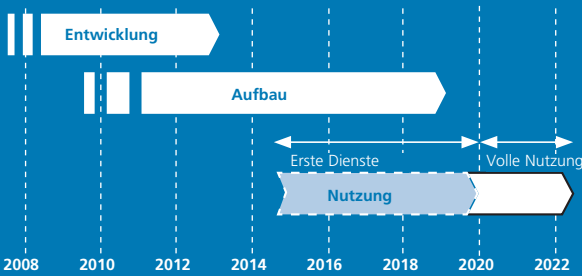
Das DLR-Institut für Kommunikation und Navigation besteht seit 1966. Im Mai 2013 erhielt es für seine 140 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter ein neues Gebäude.

Mit über 13.000 Kilometern in der Stunde fliegen sie auf ihrer Umlaufbahn um die Erde, die vier Galileo-Satelliten, die den Auftakt zu einem europäischen Navigationssystem bilden. Bis die Signale die Erde erreichen, haben sie über 23.000 Kilometer zurückgelegt. Dabei werden sie vom Weltraumwetter – dem Sonnenwind und der kosmischen Strahlung – beeinflusst. Zum Schluss müssen sie die Ionosphäre durchqueren, die in einer Entfernung von 80 bis 1.000 Kilometern die Erde umhüllt. In diesem Bereich werden die Gasmoleküle durch die Sonnenstrahlung elektrisch aufgeladen, ein Plasma entsteht. Es verzögert die Signale in Abhängigkeit von der Elektronendichte und damit von der Sonnenstrahlung. Bevor die Signale dann die Empfangsgeräte auf dem Boden erreichen, können sie durch weitere Störungen, insbesondere durch Reflexionen an Gebäuden verfälscht werden. „Die Signale werden mit 30 Watt gesendet – das ist die gleiche Leistung, die eine schwache Glühbirne abstrahlt. Unter freiem Himmel empfängt eine typische Antenne ein Zehntel Femtowatt. Bei dieser Zahl stehen 15 Nullen zwischen dem Komma und der Eins“, sagt Prof. Dr. Christoph Günther, Direktor des Instituts für Kommunikation und Navigation. Dabei ist die Welt heute mehr denn je auf präzise gesendete und empfangene Signale aus dem Weltall angewiesen: Straßen-, Luft- und Seeverkehr, Hoch- und Brückenbau, Telekommunikations- und Stromnetze und zunehmend auch die Landwirtschaft – die Anwendungsgebiete sind vielfältig. Damit die Anwendungen so genau arbeiten können, wie es nötig ist, forscht das Institut für Kommunikation und Navigation: „Wir müssen Verzerrungen und Störungen verstehen, analysieren und unterdrücken. Zunehmend gilt dies auch für Signale, die bewusst erzeugt werden, um falsche Positionen vorzutäuschen.“

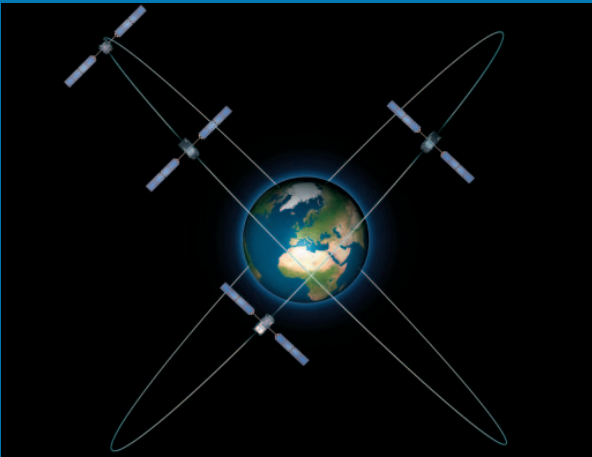
Sendeanlage am Rostocker Hafen. Dort simulieren mehrere Sender die Galileo-Signale aus dem All. Die DLR-Wissenschaftlerinnen und -Wissenschaftler erforschen so deren Anwendung für die Schifffahrt.

Schon kleine Ungenauigkeiten haben große Auswirkungen und können bei der Bestimmung der Position zu einem Fehler von mehreren Metern führen – schließlich benötigt das Licht nur drei Nanosekunden, um einen Meter zurückzulegen: Angenommen, ein Bauunternehmer erhält den Auftrag, einen Graben in der Nähe einer Gasleitung zu ziehen. Und angenommen, die

Das Galileo-Satellitensystem von der Entwicklung bis zur Vollendung



Bis 2015 werden 14 weitere Galileo-Satelliten in Position gebracht sein

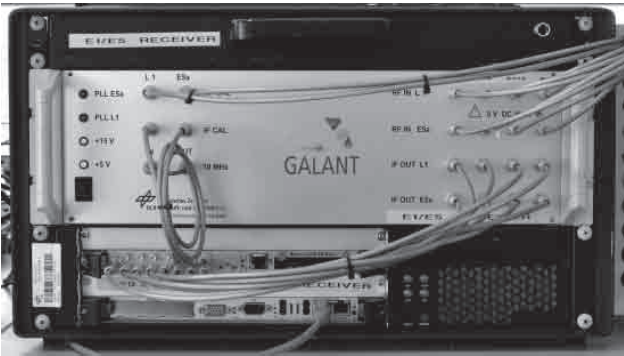


Zurzeit umkreisen vier Galileo-Satelliten die Erde

Satellitensignale werden auf ihrem Weg vom Satelliten bis zum Empfänger verändert oder gestört. Im günstigsten Fall fällt das Navigationssystem des Bauunternehmers aus – und der weiß nicht mehr, wo er ungefährdet graben kann. Im schlechtesten Fall zeigt das Navigationsgerät eine fehlerhafte Position an. „Wir streben danach, Fehlerschranken anzugeben, die mit einer vorgegebenen Wahrscheinlichkeit nicht überschritten werden“, sagt Christoph Günther.

„Wettervorhersagen“ für die Ionosphäre

Die Wissenschaftler des Instituts für Kommunikation und Navigation werden deshalb zu „Wetterfröschen“ der besonderen Art: Sie untersuchen die Prozesse, die in der Ionosphäre ablaufen, um mit diesen Daten den Zustand der Ionosphäre modellieren und vorhersagen zu können. Abhängig von der Sonneneinstrahlung ändert sich das Plasma der Ionosphäre – und verursacht dabei eine Verzögerung und Verformung des Satellitensignals auf dem Weg zur Erde. Nur wenn bekannt ist, was sich in der Schicht zwischen Erde und Weltraum abspielt, können die Wissenschaftler notwendige Algorithmen erstellen, mit denen die verfälschten Satellitensignale korrigiert und zur exakten Positionsbestimmung verwendet werden können. Im Ionospheric Monitoring and Prediction Center wird die Elektronendichteverteilung in der Ionosphäre aufgezeichnet, ausgewertet und anstehende Auswirkungen auf Navigationssatellitensysteme werden berechnet. Hierfür werden Signale von Navigationssatelliten – heute GPS und GLONASS – am Boden, aber auch auf niedrigfliegenden Satelliten ausgewertet. Zudem steht für



Das Oberpfaffenhofener DLR-Institut entwickelt unter anderem robuste Empfänger, die unempfindlich gegen Störsignale sind

Messungen der Sonnenaktivität ein Spezi­alsatellit zur Verfügung, der sich zwischen Sonne und Erde befindet. „Zurzeit können wir eine Vorhersage für einen Zeitraum von einer Stunde erstellen“, erläutert Professor Günther.

Signale aus allen Richtungen

Doch selbst wenn das Signal der Satelliten die Ionosphäre ungestört durchquert hat – von der Umgebung, auf die es auf der Erde trifft, kann es auch noch verändert werden: Gebäude und auch der Boden reflektieren das Satellitensignal in vielfältiger Weise. Den Empfänger erreicht dann kein eindeutiges Signal, sondern eine Überlagerung mehrerer Signale mit unterschiedlichen Zeitversätzen – in Städten entstehen unter ungünstigen Verhältnissen Fehler von 100 Metern und mehr. Bei Navigationssystemen wie Galileo oder GPS wäre eine exakte Bestimmung der Position mit diesen falschen Ankunftszeiten dann nicht mehr möglich. Liegt ein Containerschiff zum Beispiel unter einer Krananlage, verfälscht diese die Satellitensignale.

Bereits vor zehn Jahren führte das Institut für Kommunikation und Navigation unter anderem Messungen mit einem Zeppelin durch, um so Modelle dieser Mehrwegeausbreitung erstellen zu können. Heute dienen diese Daten und ihre Auswertung als Referenzmodelle, mit denen die Wissenschaftler die Veränderungen von GPS- oder Galileo-Signalen in einer Umgebung simulieren und beispielsweise zwischen Signal und Reflexion unterscheiden können. „Wir modellieren die ungünstigsten Szenarien – das ist wichtig, um anschließend Algorithmen zu entwickeln, die die Verfälschungen bei der Positionsbestimmung herausrechnen und mit hoher Wahrscheinlichkeit korrekte Positionen liefern.“

Blind und taub für Störsignale

Andere Störungen nehmen manchmal ganz konkrete Formen an. Zum Beispiel die eines Müllwagens. Am Flughafen Newark sorgte der tatsächlich dafür, dass das Ground Based Augmentation System (GBAS) ausfiel. Diese Bodenempfänger mit sehr genau bekannter Position erlauben es, Fehler in den Signalen zu ermitteln und Korrekturen für die Empfänger auf den Flugzeugen zu berechnen. Der Fahrer des Müllwagens wollte nicht, dass sein Arbeitgeber jederzeit seinen genauen Standort lokalisieren konnte und baute deshalb einen Störsender in seinen Lastwagen ein. Bei jeder Vorbeifahrt setzte er dabei das GBAS am Flughafen außer Betrieb. „Satellitensignale sind einfach sehr schwach und können daher leicht gestört werden“, betont Institutsdirektor Günther. „Die Systeme für die Luftfahrt

sind so ausgelegt, dass sie sich abschalten, wenn etwas geschieht, das nicht vorgesehen war.“ Das Institut arbeitet deshalb daran, die lästigen Störsignale zu isolieren und vom wichtigen Satellitensignal zu trennen. Eine knifflige Arbeit, denn letztendlich bedeutet dies, den lauten Lärm eines Presslufthammers zu unterdrücken, um das Flüstern eines Menschen klar und deutlich zu hören. Dafür müssen die Empfangsgeräte blind und taub für die Störsignale werden. Den Müllwagen mit Störpotenzial für den Flughafen Newark hat das Institut bereits im Galileo-Testgebiet in Berchtesgaden mit eigenen Empfängern simuliert. „Unsere Empfänger sind extrem robust gegen Störungen und lieferten während des Versuchs stets korrekte Positionen.“

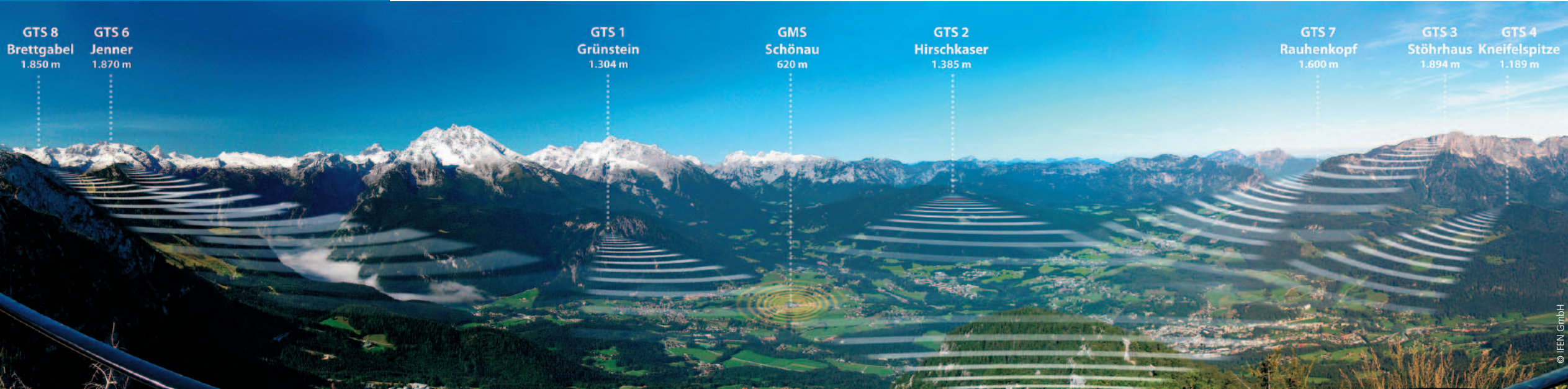
Kontinuierlich und zuverlässig

Entscheidend ist bei jeder Nutzung eines Satellitennavigationssystems aber eines: Es muss kontinuierlich zuverlässig zur Verfügung stehen. Ein Pilot muss während der Landung mit exakten Positionen arbeiten können, ein Kapitän benötigt bei der Hafeneinfahrt ebenfalls natürlich ein störungsfreies Navigationssystem. Für die Zuverlässigkeit der Positionsschätzungen – die sogenannte Integrität – entwickelt das Institut für Kommunikation und Navigation die entsprechenden Konzepte. In Braunschweig haben die Wissenschaftler deshalb am Flughafen eine einzigartige Testumgebung aufgebaut, die das Landen mit GPS und später Galileo ermöglicht. Ziel ist es aber, mit einem satellitengestützten Navigationssystem eine vollautomatische Landung – ohne Sicht auf die Landebahn – zu ermöglichen. Weltweit die ersten Landeanflüge dieser Art wurden in Braunschweig im Winter 2011 mit Erfolg durchgeführt. Ein weiteres Testgebiet des Instituts befindet sich im Hafen von Rostock-Warnemünde. „Flugzeuge können ja immerhin noch einmal durchstarten, wenn sie kein Navigationssignal empfangen – Schiffe hingegen können nicht einfach bremsen, sondern benötigen kontinuierliche Positionsschätzungen.“

Die Vision für die Zukunft der Satellitennavigationssysteme? „Wir wollen die Automation ermöglichen“, sagt Institutsdirektor Prof. Christoph Günther. „Das bedingt, dass wir uns vollkommen auf die Positionsschätzung unserer Systeme verlassen können müssen.“ ●



Weitere Informationen:
www.DLR.de/KN
<http://s.DLR.de/2j7k>



Glossar

GPS: Global Positioning System – globales System zur Positionsbestimmung, seit Mitte der Neunzigerjahre funktionsfähiges amerikanisches Satellitennavigationssystem

GLONASS: Globalnaja nawigazionnaja sputnikowaja sistema – globales Satellitennavigationssystem, seit Ende 2011 verfügbare russische Alternative zu GPS

Galileo: Seit 2008 in der Testphase betriebenes europäisches System zur Satellitennavigation

GATE: Galileo-Testumgebung, gegenwärtig werden in Deutschland fünf GATES betrieben

GBAS: Ground Based Augmentation System, bodengestütztes Ergänzungssystem zur Sicherstellung von Genauigkeit, Integrität, Kontinuität und Verfügbarkeit von Ortskoordinaten

Bevor Katla und Hekla aktiv werden ...

Bis in 7.000 Kilometer Höhe stieg die Gas- und Aschewolke auf. Die starken Winde in der oberen Troposphäre trugen sie tausende Kilometer über den europäischen Kontinent. Dort trübte kein Kondenssstreifen den Anblick des strahlend blauen Frühlingshimmels, kein Flugzeug war in der Luft zu sehen. Denn am Himmel lauerte die Gefahr, nahezu unsichtbar, in Form mikroskopisch kleiner Aschepartikel. In Folge eines Ausbruchs des isländischen Vulkans Eyjafjallajökull im April 2010 waren die Luftsicherheitsbehörden gezwungen, einen Großteil des Luftraums über Europa zu sperren. 100.000 Flüge wurden gestrichen, ein Milliardenverlust für die Airlines. Im DLR-Projekt VOLCATS wollen DLR-Forscher nun genauere Methoden zur Detektion von Vulkanaschewolken entwickeln. Zukünftig sollen Flugzeuge so in bestimmten Korridoren mit keiner oder ungefährlich kleiner Aschebelastung fliegen können.

Was tun, wenn Vulkanasche den Flugverkehr gefährdet? DLR-Projekt VOLCATS gibt Antworten

Von Falk Dambowsky



Anflug des isländischen Vulkans Eyjafjallajökull mit der Falcon während des Ausbruchs im April 2010

Beteiligte DLR-Einrichtungen:

Institut für Physik der Atmosphäre (Leitung)
Institut für Flugführung
Institut für Lufttransportsysteme
Flugexperimente
Systemhaus Technik

Ziel des DLR-Projekts VOLCATS (VOLCanic Ash impact on the air Transport System)

- Entwicklung eines Satelliten-Produkts zur Bestimmung und Kurzfrist-Vorhersage von aschefreiem Luftraum bei einem Vulkanausbruch
- Aufbau und Erprobung von Asche- und Schwefeldioxid-Miniatur-Sensoren für Linienflugzeuge zur Warnung der Crew bei einem unvorhergesehenen Einflug in eine Vulkanwolke
- Entwicklung von Flugführungs-Prozeduren und -Maßnahmen zur schnellen Reaktion auf Vulkanasche im Luftraum

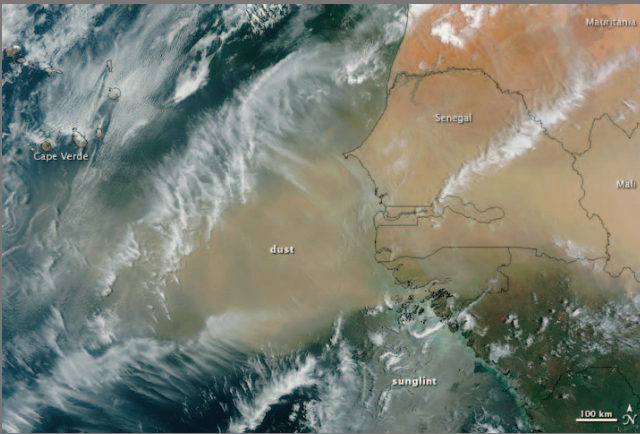
Verglichen mit den großen Schwestern Katla und Hekla ist der Eyjafjallajökull eher ein Winzling. Aus dem Jahr 1755 wird über einen weit heftigeren Ausbruch des Katla berichtet, bei dem sich die isländische Asche in dicken Schichten über das immerhin tausend Kilometer entfernte Schottland legte. Das Jahr 1783 ging gar als das Jahr ohne Sommer in die Geschichtsbücher ein. Monatelang verdunkelte eine Aschewolke mehrerer isländischer Vulkane den Himmel über ganz Europa. „Wenn es nicht irgendwann ein Jahr ohne Flugverkehr über Europa geben soll, müssen wir handeln und geeignete Methoden zur Aschedetektion und -warnung entwickeln“, sagt Dr. Hans Schlager, Leiter des DLR-Projekts VOLCATS (VOLCanic Ash impact on the air Transport System) und Leiter der Abteilung Atmosphärische Spurenstoffe im DLR-Institut für Physik der Atmosphäre.

Das Problem liegt im Flugzeugtriebwerk: Bei Betriebstemperaturen bis zu 1.700 Grad Celsius schmelzen die angesaugten Vulkanaschepartikel. Der heiße Abgasstrom passiert die Turbinenschaufeln, wo die Aschepartikel anschließend als glasartige Masse kondensieren. „Entscheidend für die Gefährdung eines Triebwerks ist die Konzentration der Asche in der Luft und die Dosis, die vom Triebwerk aufgenommen wird“, erläutert Dr. Schlager. Es ist ähnlich wie bei der Radioaktivität: Menschen vertragen eine bestimmte Dosis, die im Normalfall von der natürlichen Radioaktivität kaum erreicht wird, die man in der Nähe einer starken radioaktiven Quelle aber sehr schnell abbekommen kann.

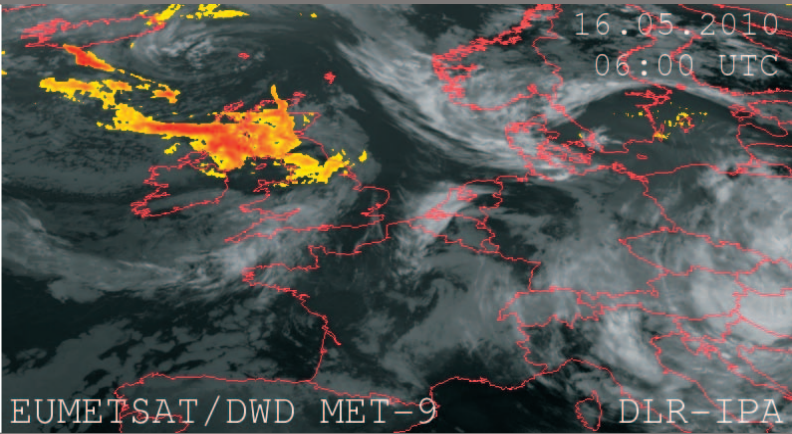
Ein Flugzeugtriebwerk kann Luft mit einer geringen Aschkonzentration eine gewisse Zeit lang tolerieren, wogegen höhere Konzentrationen sehr schnell zu starken Ascheablagerungen und Schädigungen führen. Bei der Eyjafjallajökull-Krise 2010 wurde ein Grenzwert im Bereich von zwei bis vier Milligramm Asche pro Kubikmeter Luft für den europäischen Luftraum festgelegt. Doch wie bestimmt man diesen Wert präzise?

Im Projekt VOLCATS gehen DLR-Forscher dieser Frage nach. Bis 2015 wollen sie mit bereits im Weltall befindlichen Satelliten die Aschewolke eines Vulkanausbruchs zeitnah und präzise vermessen und ihre Verlagerung in den Folgestunden vorhersagen. Das Ziel: Der Flugverkehr soll mit diesen Informationen in sicherem Abstand um eine größere Aschewolke geleitet werden, um so zumindest einen Teil des Flugverkehrs aufrechtzuerhalten.

Fernerkundung der Vulkanwolke des Eyjafjallajökull mittels Lidar (Light Detection and Ranging) an Bord der DLR-Falcon. Dr. Oliver Reitebuch kontrolliert das Lidar-Rückstreuungssignal von den Vulkanasche-Schichten.



Sahara-Staubausbruch über dem Atlantik: Wüstenstaub- und Vulkanaschepartikel haben eine ähnliche Korngröße. Das nutzen die Forscher, um herauszufinden, wie sich Partikelwolken mit den Meteosat-Satelliten aufspüren lassen. Zudem soll untersucht werden, wie es möglich ist, Asche- und Staubpartikel in den Satellitendaten voneinander abzugrenzen.



Detektion der Eyjafjallajökull-Aschewolke über Großbritannien: Eine erste Version des DLR-Algorithmus zur Erkennung und Kurzfristvorhersage aschebelasteter Gebiete aus Meteosat-SEVIRI Infrarot-Daten kam im Jahr 2010 zum Einsatz

„Wir planen, mit Hilfe des Satelliten Meteosat der zweiten und zukünftig der dritten Generation die typische Signatur der Asche herauszuarbeiten. Dazu dienen uns die Beobachtungskanäle im infraroten Bereich des SEVIRI-Instruments an Bord dieser Satelliten“, skizziert Schlager das ambitionierte Ziel.

Die Satelliten-Daten zur Asche werden von den Forschern mit Messflügen überprüft. „Dazu nutzen wir unseren „Ashhunter“, das Forschungsflugzeug Falcon. Mit ihr werden wir nach Sizilien zum Ätna und zum Stromboli fliegen“, so Schlager. „Die Asche-Daten der Messflüge helfen, die Flugzeugsensoren zu optimieren und die parallel beobachtenden Satelliten hochgenau zu kalibrieren.“

Damit aber nicht genug. Die VOLCATS-Wissenschaftler wollen in diesem Sommer auch Messungen bei Staubausbrüchen in der Sahara durchführen: „Wüstenstaub hat eine ähnliche Korngröße wie Vulkanasche und damit eine ähnliche Signatur auf Satellitenaufnahmen. Er bietet uns neben den Vulkanen ein ideales TestszENARIO“, führt Prof. Dr. Bernadett Weinzierl an, die dieses Arbeitspaket leitet.

Darüber hinaus wollen die Forscher Miniatur-Asche- und Schwefeldioxid-Sensoren für Linienflugzeuge entwickeln und erproben. Das System soll die Crew bei einem unvorhergesehenen Einflug in eine Aschewolke warnen und kontinuierlich die Aschebelastung der Triebwerke registrieren. Ebenso erarbeiten die Wissenschaftler ein Maßnahmenpaket im Bereich Flugverkehrsmanagement, um zukünftig flexibler, möglichst ohne vollständige Sperrung des Luftraums, auf einen großen Vulkanausbruch reagieren zu können.

Wann es so weit ist und der nächste isländische Feuerriese zum großen Wurf ansetzt, vermögen Vulkanologen schwer vorherzusagen. Für die Vulkanexperten steht aber fest: Katla und Hekla sind schon lange überfällig. ●



Weitere Informationen:
www.DLR.de/PA



Bei Falcon-Testflügen zu den italienischen Vulkanen Ätna und Stromboli werden im Projekt VOLCATS Messinstrumente für Asche- und Schwefeldioxid-erkennung erprobt. Auch Vergleichsmessungen für die zukünftige Satelliten-Detektion von Vulkanaschewolken nehmen die Wissenschaftler vor.

Meldungen

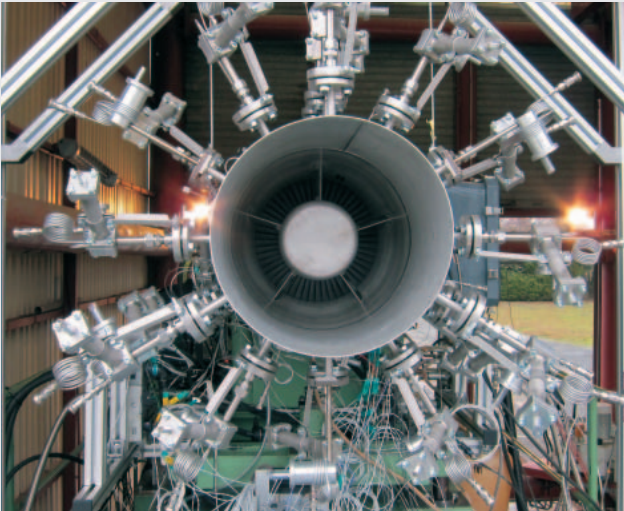
Mikrofone im Hubschraubertriebwerk

Der Lärm von Hubschraubern konnte von DLR-Wissenschaftlern erstmals innerhalb eines Hubschraubertriebwerks gemessen werden. Dazu setzten die Berliner Forscher der Abteilung Triebwerksakustik des DLR-Instituts für Antriebstechnik neuartige, speziell entwickelte Heißgas-Mikrofon-Sonden ein. So konnten sie die Prozesse untersuchen, die für die Schallentstehung verantwortlich sind.

Bisher hatten die Forscher zur Lärmminde rung vor allem die Beschaffenheit, Anordnung und Anzahl der Rotorblätter im Blick. Für die Untersuchung von Lärmquellen innerhalb des Triebwerks fehlte eine entsprechende Messtechnik, die hohen Druck, hohe Temperaturen und große Temperaturschwankungen aushält sowie klein genug ist, um im Triebwerk installiert werden zu können. Für die aktuelle Messkampagne wurde eine Reihe von Mikrofonen an verschiedenen Stellen innerhalb und im Austrittsbereich des Triebwerks montiert, die jeweils zur gleichen Zeit Signale aufnehmen. Setzt man die gewonnenen Signale der internen und externen Sensoren miteinander ins Verhältnis, ergibt sich eine Struktur, die Rückschlüsse auf die Schallquellorte im Triebwerk sowie auf die Intensität des ins Freie abgestrahlten Geräuschs zulässt. Mit der Schallfeldanalyse kann gezeigt werden, wie sich Schall ausbreitet und Lärm entsteht.

Die Messergebnisse, die im Rahmen des europäisch geförderten Projekts TEENI (Turboshaft Engine Exhaust Noise Identification) beim Triebwerkshersteller Turbomeca im französischen Bordes ermittelt wurden, ermöglichen es nun, über Lärm reduzierende Maßnahmen wie lärmarmes Design nachzudenken, beziehungsweise bauliche Veränderungen am Triebwerk vorzunehmen.

<http://s.DLR.de/788v>



Heißgas-Mikrofon-Sonden am Hubschraubertriebwerk

Absolut sichere Signalübertragung von der Luft zum Boden



Vom Flugzeug gesendetes Laserlicht wurde von der DLR-Bodenstation empfangen, mit speziell entwickelten Messgeräten aufgenommen und analysiert

Geheime Informationen sicher zu übermitteln, ist ein ebenso altes wie hoch aktuelles Thema. Ein erfolgreiches Experiment des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt gemeinsam mit der Ludwig-Maximilians-Universität (LMU) München eröffnet in der Kryptografie neue Wege.

Weltweit erstmals gelang es den Wissenschaftlern, einen sogenannten „Quantenschlüssel“ mit einem sich schnell bewegenden Objekt – in diesem Fall des DLR-Forschungsflugzeugs Do 228-212 – zu übertragen. Per Laserstrahl wurden die Quantendaten zur optischen Bodenstation des DLR-Instituts für Kommunikation und Navigation gesendet.

Zur Verschlüsselung werden bei diesem Verfahren die quantenmechanischen Zustände einzelner Lichtteilchen genutzt. Jedes Abhören stört das Verhalten der Teilchen und kann dadurch sofort bemerkt werden. Bisher ist die Quantenkryptografie jedoch nur beschränkt im Einsatz – die Übertragung der Daten erfolgt in der Regel über Glasfaser. Das Flugexperiment hat gezeigt, dass die Verschlüsselungstechnik auch für schnell bewegliche Objekte nutzbar ist und in bestehende optische Kommunikationssysteme integriert werden kann. Künftig könnten Quantendaten somit auch mittels Satelliten weltweit übertragen werden.

Für das Experiment wurde in dem Flugzeug ein Lasersystem installiert, das einen Sender für die Datenkommunikation mit einem zweiten Sender für die Quantenkryptografie kombiniert. Das vom Flugzeug gesendete Laserlicht wurde von der Bodenstation empfangen, mit speziell entwickelten Messgeräten aufgenommen und analysiert. Die Auswertungen im Detail sind im „Nature Photonics“-Journal veröffentlicht worden.

<http://s.DLR.de/fi8x>



Multi-Talent Roboter

Piloten trainieren mit einem roboterbasierten Flug-Simulator. In der Autoproduktion helfen Roboter den Monteuren. Und die feinfühligste Fernsteuerung von Roboterarmen soll in den Operationssaal Einzug halten. – Wenn die Ingenieure am Robotik und Mechatronik Zentrum des DLR tüfteln und experimentieren, kommen dabei Erkenntnisse heraus, die auch die Industrie interessieren.

Ergebnisse aus der Forschung finden kommerzielle Nutzung

Von Manuela Braun

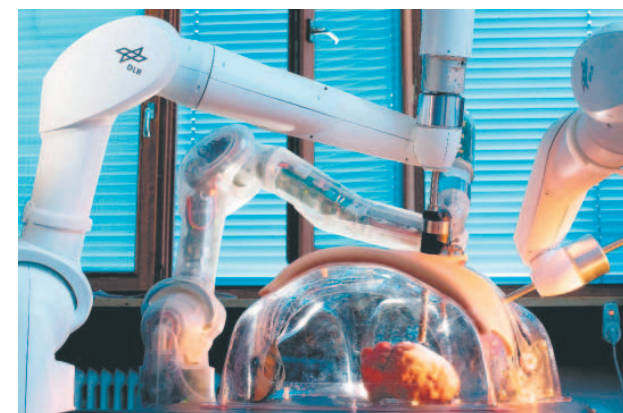
Fließend wird die Kuppel von dem gelenkigen Roboterarm vor- und zurückbewegt, während auf der großen Leinwand eine Gebirgslandschaft vorbeizieht. Für den Piloten im Inneren der Kapsel fühlt sich das allerdings nur nach einem an: dem Flug in einer Diamond DA 42. In Wirklichkeit verliert er in keinem Moment die Bodenhaftung. Der Flugsimulator der Firma Grenzebach Maschinenbau GmbH ist der erste kommerzielle Simulator, der auf einem Roboter basiert. Sobald die Anlage bei den Luftfahrtbehörden als Level-D-Flugsimulator, dem höchsten Qualifizierungsniveau, zertifiziert wurde, können darin Piloten trainieren. Das Vorbild der Anlage steht im Robotik und Mechatronik Zentrum des DLR in Oberpfaffenhofen. Dort kann es noch mehr: Wahlweise mit einem Lenkrad oder einem Steuerknüppel ausgerüstet, wird die Kuppel zum Hubschrauber oder zum Auto.

Seit 2004 arbeiten die DLR-Ingenieure des Instituts für Systemdynamik und Regelungstechnik und des Instituts für Robotik und Mechatronik mit einem Simulator, der auf bewährte Technik – nämlich auf Industrie-Roboterarme – zurückgreift. Zu Beginn flog die montierte Kuppel fest vorgegebene Flugbahnen, mittlerweile kann das System in Echtzeit auf die Kommandos des Passagiers reagieren und die entsprechenden Flug- und Fahrmanöver simulieren. Diese Forschungsergebnisse werden in Zukunft das Pilotentraining deutlich günstiger machen. „Bisher werden Piloten auf Schulflugzeugen ausgebildet, da hexapod-basierte Simulatoren zu teuer für die Grundausbildung sind“,

erläutert Tobias Bellmann, der in Kooperation mit der Grenzebach GmbH und einem institutsübergreifenden Team das Schulungsgerät für Piloten entwickelt hat. „Mit einem Simulator, der auf einem Industrieroboter aufbaut, liegen die Anschaffungskosten bei nur etwa einer Million Euro und damit im Preisbereich des Trainingsflugzeugs.“ Ein weiterer Vorteil: Der Roboterarm kann Flugmanöver möglich machen, an denen ein üblicher Hexapod scheitern würde, wie zum Beispiel Rückenflüge. Bisher sind bereits 25 Bestellungen für den einzigartigen Flugsimulator bei der Grenzebach Maschinenbau GmbH eingegangen. „Für uns ist das natürlich eine Bestätigung dafür, dass unsere Forschungsergebnisse sehr gut in die Praxis umgesetzt werden können“, betont Dr. Johann Bals, Leiter des Instituts für Systemdynamik und Regelungstechnik.

„Kooperationen mit der Industrie geben uns wichtige Rückmeldungen für die Forschung“, betont auch Prof. Alin Albu-Schäffer, Leiter des Instituts für Robotik und Mechatronik. „Wir erfahren, wo in der konkreten Anwendung der Schuh drückt.“ Wenn in der Autoproduktion bei Daimler die im DLR entwickelten Leichtbauroboter beispielsweise bei der Montage helfen, haben die Forschungsingenieure auch das Thema Sicherheit zu berücksichtigen. „Dieser Frage mussten wir uns erst durch die konkrete Nutzung in der Industrie stellen.“ Mittlerweile hat sich das Thema als „Soft-Robotics“ zu einem der Schwerpunkte im Institut entwickelt. Zudem profitiert das Robotik und Mechatronik Zentrum auch anderweitig von der Zusammenarbeit mit der Industrie: Statt einzelne Teile manuell zeitaufwändig im Labor selbst herzustellen, können die Ingenieure mittlerweile auf kommerzielle Leichtbauroboter der Firma Kuka Roboter GmbH zurückgreifen, in die wiederum die Forschungsergebnisse des DLR eingeflossen sind.

„Was für die Raumfahrt entwickelt wird, hat Nutzen in vielen Bereichen“, betont Albu-Schäffer. Der Roboterarm, der im Weltall beim Greifen nach defekten Satelliten von der Erde aus ferngesteuert agieren soll, bietet viele Einsatzmöglichkeiten. Bald kommt eine neue hinzu: Der Operationssaal. Dort werden die Roboterarme von MIROSURGE in Zukunft vom Chirurgen ferngesteuert exakt und mit möglichst kleinen Schnitten operieren. Die Vertragsverhandlungen für eine kommerzielle Nutzung des im DLR entwickelten Systems laufen bereits. ●



Der DLR-Leichtbauroboter MIRO wurde speziell für unterschiedliche Aufgabenstellungen entworfen. Sein geringes Gewicht und die kompakten Abmessungen ermöglichen die Nutzung auch bei den eingeschränkten Platzverhältnissen im Operationssaal.



Der weltweit erste roboterbasierte Flugsimulator, eine Entwicklung des DLR in Kooperation mit Grenzebach Maschinenbau und KUKA



Weitere Informationen
www.DLR.de/RM

Bei Häfelis, Langnasen und Seebienen

Die Schweiz ist etwas Besonderes und stolz darauf. Die Alpenrepublik ist nicht nur für Touristen ein attraktives Ziel. Die staatliche Neutralität verlieh ihr einen bis heute währenden attraktiven Sonderstatus. Historisch ging dieser mit einer besonderen Wachsamkeit einher. So erwarb sich die Schweizer Luftfahrt inklusive der Luftwaffe im Lauf der Zeit einen exzellenten Ruf. Verständlich also, dass dieses Alpenland seinen Gästen auch einen Einblick in die Geschichte seiner Luftfahrt geben möchte. Für luftfahrtinteressierte Besucher sind wegen der nahen Lage zum Bodensee und zu Zürich die beiden Fliegermuseen in St.Gallen/Altenrhein und Dübendorf einen Ausflug wert.

Zwei Schweizer Fliegermuseen in Altenrhein und Dübendorf zeigen Veteranen der Luftfahrt zum Anfassen

Von Hans-Leo Richter

Das Fliegermuseum Altenrhein

Aus Deutschland kommend, überquert der Besucher zweckmäßigerweise bei Friedrichshafen den Bodensee mit der Autofähre, die ihn in weniger als einer Stunde hinüber nach Romanshorn bringt. Von dort aus führt der Weg am See entlang leicht nach Südosten, vorbei an Rorschach, bis zum kleinen Regionalflugplatz St.Gallen/Altenrhein. Der nahe Kreisverkehr bietet einen ebenso typischen wie ungewöhnlichen Blickfang: Auf

dem Rondell erhebt sich eine stabile Konstruktion, die einen De Havilland Vampire-Abfangjäger aus der Frühzeit der schweizerischen Luftwaffe zeigt, der kurioserweise einen sehr zivilen Namen trägt: „Biene Maja“. Passiert man dann die Markthalle Altenrhein in der unverwechselbaren und bunten Architektur des Künstlers Friedensreich Hundertwasser, so steht man auch schon vor dem großen, wenn auch äußerlich völlig unscheinbaren Hangar. Lediglich ein kleines Schild weist auf das Fliegermuseum Altenrhein und seine zahlreichen Schätze hin.

Die Idee zu der Sammlung geht zurück auf die Achtzigerjahre, als die Schweizer Luftwaffe ihre bis dahin aktive Flotte von Hawker Hunter-Abfangjägern zugunsten modernerer Muster außer Dienst stellte. So gelangten drei Hunter-Exemplare nach Altenrhein. Vor allem für jugendliche Besucher interessant ist die Mittelsektion eines Hunter mit dem noch weitgehend originalen Cockpit. Man darf sich sogar in das enge Cockpit zwängen – und über die außerordentlich geringe Bewegungsfreiheit früherer Hunter-Piloten staunen.

Zwar bilden diverse militärische De Havilland-Flugzeuge, mehrere Pilatus-Trainingsflugzeuge sowie ein modernes Mirage III-Kampfflugzeug einen Schwerpunkt der Ausstellung, nicht weniger interessant sind allerdings die auch für den zivilen Gebrauch ausgelegten Flugzeuge. Zwei klassische Schulflugzeuge, eine Bücker Jungmann und eine Boeing Stearman, erinnern an große Doppeldecker-Zeiten. Eine amerikanische Aeronca Champion zeigt schließlich, dass es in den USA neben der legendären Piper Cup auch noch andere leichte Trainingsflugzeuge für den Pilotennachwuchs gab.



Das überaus dezente Äußere der Flugzeugsammlung in Altenrhein zeigt nur, dass es hier in der Tat auf die inneren Werte ankommt



Galerie-Blick auf den Hangar sowie das Café des Flieger-Flab-Museums in Dübendorf. Vorn erkennt man einen Fieseler „Storch“, am Boden eine P 51 „Mustang“.



Eine De Havilland Vampire mit dem wenig militärischen Namen „Biene Maja“ fungiert in der Nähe des Flugplatzes St.Gallen-Altenrhein als Blickfang für das dort beheimatete Fliegermuseum



Ein buntes Kaleidoskop schweizerischer Luftfahrtgeschichte findet Platz in einem ehemaligen Hangar des Flugplatzes



Wie etliche andere Exponate, so ist auch die viersitzige Republic RC 3 „Seabee“, ein heute seltenes Amphibienflugzeug aus den späten Vierzigerjahren, noch flugfähig. Atmosphärisch dazu passend der „antike“ Betankungswagen aus dieser Epoche.



Ein Spalinger S 21 H-Segelflugzeug, eine schweizerische Eigenentwicklung aus dem Jahr 1939

Eine alte Bekannte meint der Betrachter in der französischen Nord 1203 Norecrin II, einem leichten viersitzigen Sportflugzeug aus den Fünfzigerjahren, zu entdecken. Kein Wunder, basiert dieses Muster doch auf der berühmten Messerschmitt Me 108 „Taifun“, die seinerzeit in ihrer Klasse das Maß aller Dinge war.

Neben mehreren Alouette-Hubschraubern fällt noch ein Amphibienflugzeug auf: die leichte Republic RC 3 „Seabee“. Diese liebevoll restaurierte Seebiene bot vier Personen Platz, verfügte über einen Sechszylindermotor und ist nach wie vor flugfähig – wie übrigens fast alle der hier ausgestellten Oldtimer. Mit den meisten Mustern kann man Rundflüge unternehmen. Das Swiss Hunter Team bietet sogar Mitflüge mit der De Havilland Vampire oder eben dem Hawker Hunter an. Hierfür allerdings muss der geneigte Luftfahrtfan schon reichlich tief in die Tasche greifen, erst mit mehreren tausend Franken ist man dabei. Beim Verlassen des Museums sieht man sich wieder einmal darin bestätigt, dass ein noch so unscheinbares Äußeres keinen Rückschluss auf innere Werte erlaubt ...

Flieger-Flab-Museum Dübendorf

Rund 60 Kilometer südwestlich von Altenrhein liegt das Airforce Center Dübendorf. Markante Anlaufstelle ist hier das Flieger-Flab-Museum. Gleich nebenan befindet sich der große Hangar der „Ju-Air“, einer privaten Vereinigung, die vier klassische Junkers Ju 52-Flugzeuge betreut und bis heute für überaus beliebte Rundflüge nutzt. Kernpunkt ist allerdings das Museum, dessen Vorsilbe „Flab“ für Fliegerabwehr steht und bereits auf die programmatische Ausrichtung des Museums hinweist. Und so finden sich in diesem Museum größtenteils militärische Exponate, Luftfahrzeuge aus der Pionierzeit der Fliegerei bis zu heutigen Mustern wie beispielsweise einer Mirage III. Ferner zeigt das Museum eine Reihe von Flugabwehrgeschützen und anderes militärisches Gerät. Bereits vor dem Eingang weist das auf einem Sockel steil in den Himmel ragende Kampfflugzeug F 5 „Tiger“ unübersehbar auf den Tenor der Sammlung hin.

Neben dem schon bekannten Bleriot-Eindecker finden sich in dem großzügig dimensionierten und besucherfreundlich eingerichteten Hangar bei den historischen Flugzeugen aus der Pionierzeit mehrere Muster des Schweizer Flugzeugkonstruktors August Häfeli, der zwischen 1915 und 1929 eine Reihe von militärischen Doppeldecker-Kampfflugzeugen baute. Leistungsstärkstes Modell war die Häfeli DH 5 mit einem 180 PS starken

Fliegermuseum Altenrhein

Öffnungszeiten:

Sa/So 13.30 bis 17.00 Uhr

Führungen: Mo-So (nur nach Vereinbarung)

Sekretariat: Mo-Fr 8.00 bis 12.00 Uhr

Telefon: 0041 71 850 90 40

Eintritt:

Erwachsene CHF 10,-

Jugendliche CHF 5,-

Kinder bis 7 Jahre gratis



www.fliegermuseum.ch

LFW-V 8-Motor. LFW steht für Lokomotiv- und Maschinenfabrik Winterthur. Schon bemerkenswert, wer sich zu damaligen Zeiten den Bau von Flugmotoren zutraute ...

Interessantestes Exponat aus der Nachkriegszeit ist neben mehreren De Havilland- und Hawker-Flugzeugen vor allem der einsitzige Strahljäger P 16, eine ausschließlich schweizerische Eigenentwicklung der Flug- und Fahrzeugwerke Altenrhein. Diese Einrichtung ging aus den ehemaligen Dornier Werken Altenrhein hervor. Nach dem Zweiten Weltkrieg ging dieses Unternehmen in Schweizer Hände über. Die FFA P 16 war dabei die bedeutsamste Entwicklung der Fünfzigerjahre. Nach dem Absturz zweier Prototypen wurde allerdings mangels weiterer politischer Unterstützung auf die Weiterentwicklung verzichtet, die schweizerische Luftwaffe entschied sich für ein anderes Muster. Das war für die schweizerische Luftfahrt insofern überaus bedauerlich, da die beiden Abstürze aufgrund von Fehlern in Subsystemen erfolgten, nicht etwa aufgrund struktureller Mängel. Interessanterweise wurde allerdings der Entwurf der Tragflügel später in modifizierter Form für die früheren Versionen des amerikanischen Geschäftsreiseflugzeugs Learjet übernommen.

Während der Besucher in Altenrhein nur mit einem an der Decke schwebenden Modell der P 16 vorliebnehmen muss, befindet sich der letzte noch existierende Prototyp hier in Dübendorf. Auffällig ist vor allem die vergleichsweise kleine Auslegung des Seitenleitwerks. Außergewöhnlich ist auch ein weiteres Exponat, die sogenannte „Schweizer Langnase“. Diese C-3605 der Eidgenössischen Konstruktionswerkstätten wurde Ende der Sechzigerjahre als militärisches Schleppflugzeug konzipiert. Angetrieben wurde es von einer Lycoming-Wellenturbine, die den charakteristischen, sehr langen Bug erforderlich machte; daher der originelle Spitzname.

Als sozusagen interaktiven Anreiz hat der Besucher schließlich die Chance, sein fliegerisches Können in mehreren Flugsimulatoren (Boeing 737, Pilatus P3, Mirage) unter Beweis zu stellen.

Wer sich letztlich eher für die militärische Luftfahrt interessiert, kommt in Dübendorf voll auf seine Kosten, wohingegen in Altenrhein erfreulicherweise auch die zivilen Aspekte nicht zu kurz kommen. Beide Luftfahrtmuseen bieten einen überaus sehenswerten Querschnitt der schweizerischen Luftfahrt- und Luftwaffengeschichte. Auf jeden Fall also ein lohnender Ausflug, wozu die herrliche Landschaft bekanntlich ohnedies einlädt. ●

Flieger-Flab-Museum im Air Force Center in Dübendorf

Öffnungszeiten:

Di-Fr 13.30 bis 17.00 Uhr, Sa 9.00 bis 17.00 Uhr,

So 13.00 bis 17.00 Uhr

Sekretariat: Mo-Fr 8.00 bis 12.00 Uhr und 13.30 bis 17.00 Uhr

Telefon: 0041 44 823-1017

Eintritt: Erwachsene CHF 10,-

Kinder/Jugendliche (6 bis 16 Jahre) CHF 4,-

Öffnungszeiten des Restaurants, der Simulatoren und des

Check In: siehe Website



www.airforcecenter.ch



Eine schicke F 5 „Tiger“ in den Farben der berühmten Kunstflugstaffel „Patrouille Suisse“ weist bereits am Eingang des Dübendorfer Museums auf die eher militärisch geprägte Sammlung hin



Der Schweizer Flugzeugkonstrukteur August Häfeli entwickelte zwischen 1915 und 1929 diverse zweisitzige Doppeldecker-Kampfflugzeuge, darunter dieses Modell DH1-H5 mit einem bemerkenswerten zweifachen Seitenleitwerksträger



Einen optisch tadellosen Eindruck macht die Beech E 50 „Twin Bonanza“, ein leichtes Geschäftsreiseflugzeug aus den Fünfzigerjahren. Am Boden parkt ein Hawker Hunter-Abfangjäger.



Eine nachgebaute Flugwerkstatt vermittelt anschaulich ein bisschen von der Atmosphäre dieser hemdsärmeligen Luftfahrt-Gründerzeit

Rezensionen

Detaillierter Blick hinter die Kulissen

So manche Flugreisende werden sich – zumal auf einer Langstrecke – schon einmal gefragt haben, was die Crew im Cockpit so Stunde um Stunde eigentlich treibt. Was passiert während eines Interkontinentalfluges, der ja zumeist durch mehrere Zeitzonen führt? Wie wird er geplant und durchgeführt? – Friedhelm Bergmann und eine Fotografen-Crew mit dem speziellen Blick für Situationsbilder haben bei einem Flug mit dem Airbus A 380 von Frankfurt nach Tokio einmal hinter die Kulissen geschaut. Das Ergebnis ist unter dem Titel **Cockpit Live – Auf Langstrecke unterwegs mit einer Lufthansa A380** im **Aviatic Verlag** München erschienen.

Bergmann, der auch schon einmal einen Flug von München nach Varadero mit der Condor B 767-300 dokumentierte, stellt eingangs den Megaliner A380 vor und beschreibt dann die wichtige Aufgabe des Dispatchers, gemeinsam mit den Piloten die günstigste Route auszuwählen. Wetterberatung und ein gründliches Briefing der Cockpit-Crew schließen sich an. Sehr schnell versteht man, dass ein Langstreckenflug nicht nur die fliegerische Kompetenz der Piloten fordert, sondern auch einem minutiös ausgeklügelten Flightmanagement-Konzept folgt. Dazu gehört die Eingabe sämtlicher Daten und Parameter in den Bordcomputer. In Verbindung mit dem Autopiloten arbeitet das entsprechend seiner Aufgabe benannte Flight Management System (FMS) später, im Regelbetrieb, den Flug Sektion für Sektion ab. So ist es nicht verwunderlich, dass beim Start schon ein gutes Drittel des Gesamtarbeitspakets der Piloten erledigt ist.

Detailliert beschreibt der Autor dann das Auto Flight System (AFS), die „Kommandozentrale“ des Autopilot-Systems und dokumentiert wesentliche Aussagen der Flugverkehrskontrolle (ATC), die man als Passagier üblicherweise nie zu hören bekommt – und aufgrund der kryptisch erscheinenden Kürzel-Sprache auch gar nicht verstehen würde. Ausführlich beleuchtet der Autor dann die langen „en route“-Stunden, die nächtliche Flugphase über weite Teile Sibiriens. Auch wenn die Piloten die erflogenen Daten permanent mit ihren FMS-Eingaben gegenchecken, bekommt der Leser doch eine Ahnung von der Eintönigkeit nicht enden wollender Streckenabschnitte. Minutiös werden dann die Anflugvorbereitungen auf Tokio-Narita geschildert, und eine fünfseitige Fotostrecke illustriert die letzten Minuten dieses Langstreckenfluges überaus lebendig.

Überhaupt gehören die vielen Fotos, Diagramme und Kartenabbildungen zu den stärksten Seiten des Buchs. So werden beispielsweise die Karten der einzelnen Flugphasen ebenso vorgestellt wie analog dazu die jeweiligen Anzeigen von Primary Flight Display (mit den wichtigsten Angaben beispielsweise über Kurs, Höhe und Geschwindigkeit) und Navigation Display mit einer lateralen und sogar vertikalen Flugwegverfolgung. Je intensiver sich der Leser mit diesen zahllosen Einzelinformationen beschäftigt, desto deutlicher wird ihm, welch ganz hervorragenden Sicherheitsstandard derart moderne Technologien bieten.



Das Buch gibt mehr als nur einen Blick hinter die sprichwörtlichen Kulissen eines kommerziellen Verkehrsfluges. Es zeigt sehr überzeugend die enorme Teamleistung von Boden- und Flight-Crew, die wichtigste Voraussetzung für einen solchen Flug. Zudem führt es nicht nur zaudernden Fluggästen vor Augen, wie viele kompetente Hände ihre Sicherheit und einen hohen Flugkomfort gewährleisten. Und dies gilt keineswegs nur für die Langstrecke ...

Abgerundet wird dieses sehr informative Buch durch den – ebenfalls hervorragend illustrierten – Report des Überführungsfluges einer A380 von Hamburg-Finkenwerder nach Frankfurt. Optisches Highlight dabei ist die Begegnung mit dem wunderschönen Lufthansa-Traditionsflugzeug Junkers Ju 52 – das einzigartige Zusammentreffen zweier Luftfahrt-Welten.

Hans-Leo Richter



Mit dem Lärm ist das so eine Sache

Kaum etwas ist so unterschiedlich wie das individuelle Lärmempfinden. Beethovens Symphonien, genossen in einem Konzertsaal, – ein himmlisches Erlebnis. Ein ebenso lautes Flugzeug im Überflug ist auch ein himmlisches Erlebnis, nur eben anders ... Lärm spaltet die Gesellschaft; und Fluglärm besonders. Die Diskussionen um die Auswirkungen von Fluglärm sind immer öfter durch den Austausch von teils unsachlichen Argumenten geprägt. Häufig trifft dabei Unwissen auf Halbwissen, sodass sachliche Gespräche oftmals nicht möglich sind.

Die Diskussionen zu versachlichen, hat sich Andreas Fecker mit seinem Buch **Fluglärm – Daten und Fakten** zur Aufgabe gemacht. Dieses vom **Motorbuch Verlag** herausgegebene Buch hält, was es verspricht. Als ehemaligem Fluglotsen und Fachjournalisten gelingt es Fecker, auf 223 Seiten all das aufzuführen, was notwendig ist, um den Lärm als solchen zu verstehen, seine Ursachen und seine Wirkungen. Zudem zeigt er an aktuellen Beispielen, was alles getan werden kann und was noch getan werden muss, um das gesellschaftliche Verlangen nach Mobilität und die Bedürfnisse jener Menschen in Einklang zu bringen, die dem Fluglärm ausgesetzt sind. Dabei bezieht er sich auf wissenschaftliche Studien ebenso wie auch auf das technisch Machbare. Durch die Vielzahl der Fakten werden Zusammenhänge erkennbar, die in allen Diskussionen, ob Bürgerforum oder Stammtisch, sehr hilfreich sein können.

Andreas Schütz



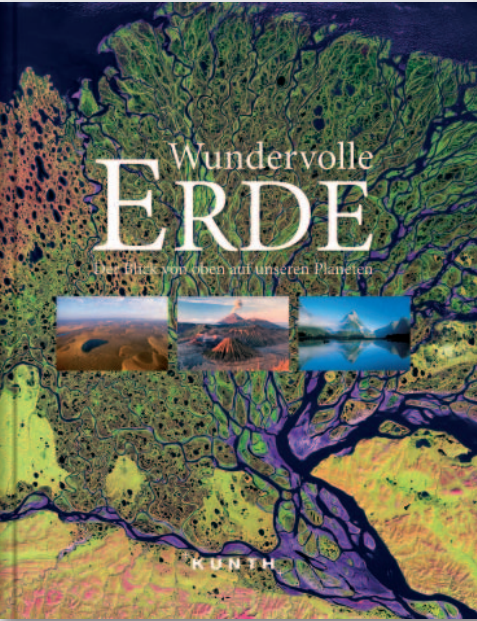
Auf in den Ziffernzoo!

Für uns Kulturschwätzer, Freigeister oder Zahlen-Verächter ist die Mathematik ein Graus. Während Mathematiker mehr als nur eins und eins zusammenzählen können, suchen wir lieber nach einer philosophischen Erklärung. Anders als Mathematiker gehen wir im Alltag mit Zahlen um. Wir behaupten, dass bei Dreien einer zu viel ist, dass Beziehungen im verflixten 7. Jahr in die Brüche gehen und die 13 eine Unglückszahl ist. Wir verschenken Blumen meist in ungerader Stückzahl, behaupten, dass aller guten Dinge 3 sind, fragen uns vielleicht, warum die Levis 501 heißt und wie das Kölnisch Wasser 4711 zu seiner Zahl kam. Eine ganz andere als die mathematische Funktion von Zahlen durchzieht unseren Alltag, denn Zahlen und Zahlenverhältnisse haben auch eine psychologische Wirkung: Die Autoren – Dozenten, Journalisten und Mitgründer des Berliner Kulturproduktionskollektivs „Zentrale Intelligenz Agentur“ (ZIA) – Holm Friebe und Philipp Albers gehen diesen Phänomenen auf den Grund und versuchen, sie mit Leichtigkeit und für jedermann zu erklären.

Allerdings ziehen sich die ersten 50 Seiten des 270-Seiten-Paperback-Bands, gefüllt mit der mathematischen Historie, wie Kaugummi. Der Leser muss sich durch die Philosophie und Psychologie von Mensch und Zahlen beißen (gäh!), bis er endlich zum viel versprochenen und gar nützlichen Partygesprächsstoff gelangt. Immerhin wird uns bereits auf den ersten Seiten bewusst, dass Zahlen einen großen Platz in unserem Alltag einnehmen.

Das Buch **Was Sie schon immer über 6 wissen wollten (Hanser)** beinhaltet darüber hinaus verblüffende Befunde und erprobtes Expertenwissen über die weltliche Macht, die Symbolik und das Eigenleben der Zahlen – eine praxistaugliche Gebrauchsanleitung für den täglichen Umgang mit ihnen. Wir erfahren von der Macht der Zeichen und lernen Sonderlinge kennen, die uns in ihrer ganz anderen als der üblichen Zahlengestalt von 1 bis 9 reichlich exotisch vorkommen. Zahleninteressierte, aber auch Skeptiker können gar Nützliches über Zahlen erfahren. Viele Aha-Effekte werden sich für sie während der zwölf Kapitel ergeben, zum Beispiel, dass sich 7 Teammitglieder als empirische Idealzahl bestätigen, Abweichungen nach oben oder unten dagegen kontraproduktiv sind. Es wäre schade, die teils verblüffenden Sachverhalte zu verpassen.

Sarah Lange



Versunken ins Ochotskische Meer

Zerknitterte Alufolie, weißer Damast, bronzefarbener Brokat, flauschiges Schafsfell, die gerade Kante eines Tischtuchs ... je länger man hinschaut, umso mehr Assoziationen tun sich auf. Schon am ersten seitenfüllenden Bild des 450-Seiten-Prachtbands guckt man sich fest: das Ochotskische Meer im äußersten Nordosten Asiens in winterlichem Eis. Der **Kunth-Verlag** gießt in seinem Bildband **Wundervolle Erde** ein wahres Füllhorn fantastischer Bilder aus: Satellitenbilder, großformatige Aufnahmen aus der Luft, Fotos aus nächster Nähe. Was für ein Augenschmaus.

Begleitende, nicht allzu üppige Texte geben geografische Informationen, versuchen diese zuweilen auch Punkten in den Bildern zuzuordnen (was mal mehr, mal weniger gut gelingt) und sparen dabei technische Details zur Bildentstehung gänzlich aus (was bei manchen Bildern durchaus vermisst werden dürfte, ebenso vielleicht wie ein wenig Poesie). Die Erwartungen, die der farbenprächige Umschlag in partiellem Hochglanzdruck weckt, werden vom Innenleben des Bildbands immer wieder aufs Neue erfüllt. Wermutstropfen ist das eine oder andere Bild, das dem derart verwöhnten Auge ob seiner schlechten Qualität befremdlich vorkommt, wie etwa die Aufnahmen von den Kanarischen Inseln oder ein Foto von den Lofoten, dessen Unschärfe der schlechten Kopie eines verblichenen Ölgemäldes von Caspar David Friedrich ähnelt. Zum Glück lässt uns schon auf der Folgeseite ein überaus detailreiches Bild vom Fjordland solch kleinen Fehlgriff vergessen: Zerklüftete grüne Landflächen auf dem Schwarz der Meeresfläche in natürlichem Einklang mit dem Weiß der Berggletscher und Braun der Gesteinsformationen. Filigrane Strukturen, in die man am liebsten weiter hineinzoomen möchte, um schließlich direkt vor Ort zu sein. Wundervolle Erde. Wie wahr!

Cordula Tegen



Seifenblasen und Graffiti im Kosmos

Es ist eine Reise mit Lichtgeschwindigkeit. Startpunkt Erde. Die **Kosmische Reise (Springer Spektrum)** führt von unserem Heimatplaneten bis zum Rand des Universums. Wunderschöne Dünen auf dem Mars, Saturnmond Hyperion, der wie ein himmlischer Schwamm aussieht, oder die malerischen Reste einer Supernova – für den Bildband wurden die schönsten Aufnahmen unseres Kosmos ausgewählt. Auf schwarzem Hintergrund strahlen Planeten, Asteroiden und Galaxien. Sie zeigen, dass sie in der Tat nicht von dieser Welt sind.

So einfach zu genießen diese Bilder sind, so anspruchsvoll sind die Texte von Autor Stuart Clark. Auf kleinem Raum versorgt Clark den Leser mit extrem gebündeltem Wissen, setzt Information an Information und fordert so die Aufmerksamkeit des Lesers ein. Wer hier nur mal eben querlesen möchte, merkt schnell: Das funktioniert mit diesem Buch nicht. Dabei vergisst der Autor allerdings nicht, dass er es nicht ausschließlich mit Experten, sondern vor allem mit interessierten Laien zu tun hat. In poetischen Überschriften und spannenden Vorspannen kitzelt er das Besondere seiner himmlischen Stars hervor und weckt so die Faszination für die Himmelskörper. Der Jupiter wird zur gescheiterten Sonne erklärt, Saturnmond Iapetus hat kosmische Graffiti und die aktive Galaxie Centaurus A wird als galaktischer Vielfraß bezeichnet. Bei jedem neuen Stopp auf der kosmischen Reise gibt es zudem die Entfernungsgabe zur Erde: Bis zum Seifenblasennebel reist man 3,5 Kilo-Lichtjahre, bis zur Sloan Great Wall dauert es ein Giga-Lichtjahr. Eine Reise, die Spaß macht.

Manuela Braun



Auf dem Weg zum Roten Planeten

Die Mars-Chroniken des US-Schriftstellers Ray Bradbury gehören zu den Klassikern der Science-Fiction-Literatur des 20. Jahrhunderts. 1950 erschienen, ist das Buch eine in Romanform gebrachte Sammlung von Kurzgeschichten.

Bradbury beschreibt eine fiktive Kolonisierung des Mars in den Jahren 1999 bis 2026 – von den ersten Erkundungsmissionen über die beginnende Kolonialisierung bis zur Besiedelung des Roten Planeten. Am Ende sind es die letzten Überlebenden eines Atomkriegs auf der Erde, die auf dem Mars Zuflucht suchen und finden. Die beschriebenen Abläufe weisen eine starke Ähnlichkeit mit Ereignissen in der Geschichte der Menschheit auf. Im Mittelpunkt stehen dabei die Gefahren und Chancen, die sich aus dem Aufeinandertreffen von unterschiedlichen Zivilisationen und deren Kulturen ergeben.

Aber kann man aus solch einem Klassiker, bei dem im Kopf jedes Lesers eigene Bilder entstehen, ein Hörbuch machen? Man kann. Indem der **Diogenes-Verlag** mit Rufus Beck einen Sprecher fand, der es versteht, die Bilder im Kopf noch zu verstärken, neu zu gestalten, den handelnden Personen Leben einzuhauchen, gelang das Kunststück. Besser geht es kaum, denn das Erzählte schiebt sich in den Vordergrund, nicht der Erzähler. Getrennt durch sphärische Klänge, kann sich der Hörer auf jedes Kapitel neu einstellen. Die Mühe (der Verlag gestaltete dazu auch ein schönes schlichtes, aber sehr informatives Booklet) hat sich gelohnt.

Eine Warnung zum Schluss: Bitte nicht im Auto hören, Ablenkung ist garantiert!

Andreas Schütz



Mondgestein im Angebot

Autor Ben Mezrich hat ein Händchen dafür, in der Wirklichkeit die spannenden Geschichten zu finden. So hat er beispielsweise mit „Die Gründung von Facebook“ das Buch geschrieben, auf dem der erfolgreiche Kinofilm über Facebook-Gründer Mark Zuckerberg basiert. Schließlich schreibt das Leben nun einmal die besten Geschichten. Mit **Der Mann, der den Mond gestohlen hat** – die unglaubliche Geschichte des dreistesten Diebstahls aller Zeiten (**riva Verlag**) hat Mezrich sich erneut ein Thema gesucht, das man sich nicht besser hätte ausdenken können.

Der 25-jährige Student Thad Roberts schafft es, bei der NASA ein Praktikum zu ergattern. Dabei kommt er auch ganz nah an die Steine heran, die von den Apollo-Astronauten vom Mond zur Erde gebracht wurden. Und was von dieser kostbaren Fracht einmal in Experimenten zum Einsatz kam, gehört für die NASA nur noch zu den Probenrückläufen, die keinen echten Wert mehr haben. Roberts wittert zum einen das große Geld, zum anderen will er den Mädels imponieren – kurzerhand beschließt er, zum Dieb zu werden. Das alles findet ein unrühmliches Ende, als er sich nach erfolgreichem Einbruch beim Verkauf der Mondsteine ziemlich dumm anstellt und für 100 Monate ins Gefängnis wandert.

So spannend sich die Geschichte anhört, so harmlos und fast schon zäh liest sich das Buch. Auch wenn der Autor sich auf viele persönliche Gespräche, tausende Seiten Gerichtsakten und Briefe von Thad Roberts persönlich beruft: Der einfach geschriebene Roman konzentriert sich über lange Strecken zu sehr auf die Geschichte eines jungen Mannes, der Mädels kennenlernen möchte, Party macht, sich verliebt und auf dumme Ideen kommt. Der raffinierte und schwierige Diebstahl reduziert sich auf einen Kinderstreich. Immerhin – Sony Pictures soll angeblich schon die Hände an der Geschichte haben und das Buch verfilmen wollen. So bekommt der „dreiste Diebstahl aller Zeiten“ vielleicht noch eine zweite Chance beim Publikum.

Manuela Braun

Das DLR im Überblick

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

In den 16 Standorten Köln (Sitz des Vorstands), Augsburg, Berlin, Bonn, Braunschweig, Bremen, Göttingen, Hamburg, Jülich, Lampoldshausen, Neustrelitz, Oberpfaffenhofen, Stade, Stuttgart, Trauen und Weilheim beschäftigt das DLR circa 7.400 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter. Das DLR unterhält Büros in Brüssel, Paris, Tokio 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 Hoffmann (ViSdP)
Cordula Tegen (Redaktionsleitung)
An dieser Ausgabe haben mitgewirkt:
Manuela Braun, Dorothee Bürkle, Falk Dambowsky,
Sarah Lange, Denise Nüssle, Andreas Schütz und
Melanie-Konstanze Wiese

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



Druck: Druckerei Thierbach,
45478 Mülheim an der Ruhr

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

ISSN 2190-0094

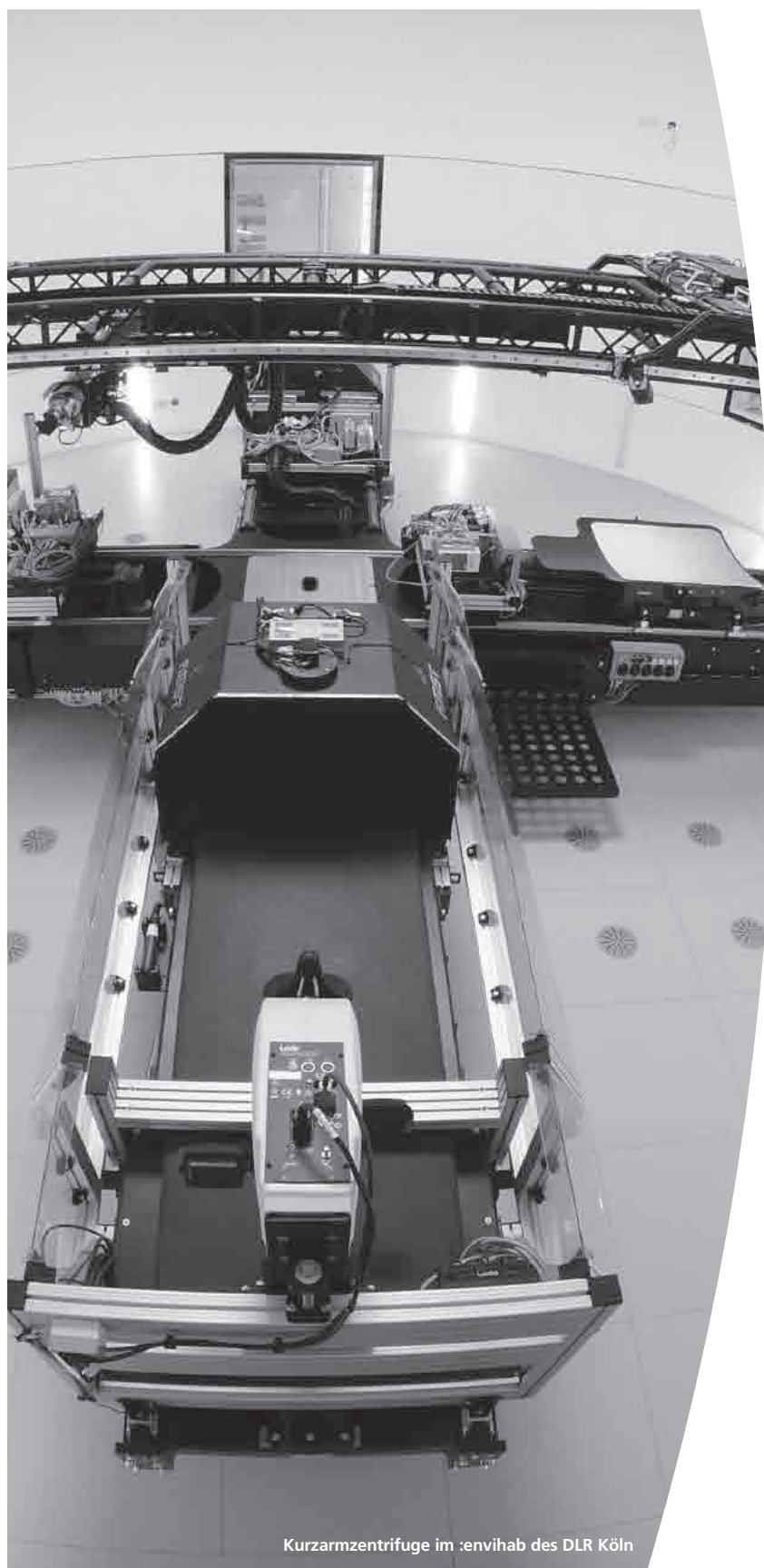
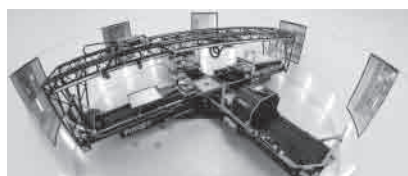
Onlinebestellung:
www.DLR.de/magazin-abo



Das DLR-Magazin erhalten Sie auch als interaktive App für iPad und Android-Tablets im iTunes- und GooglePlay-Store oder als PDF zum Download.

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

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



Kurzarmzentrifuge im Umweltlabor des DLR Köln



Deutsches Zentrum
für Luft- und Raumfahrt