



Das Magazin des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt · DLR.de · Nr. 140 · Dezember 2013

magazin

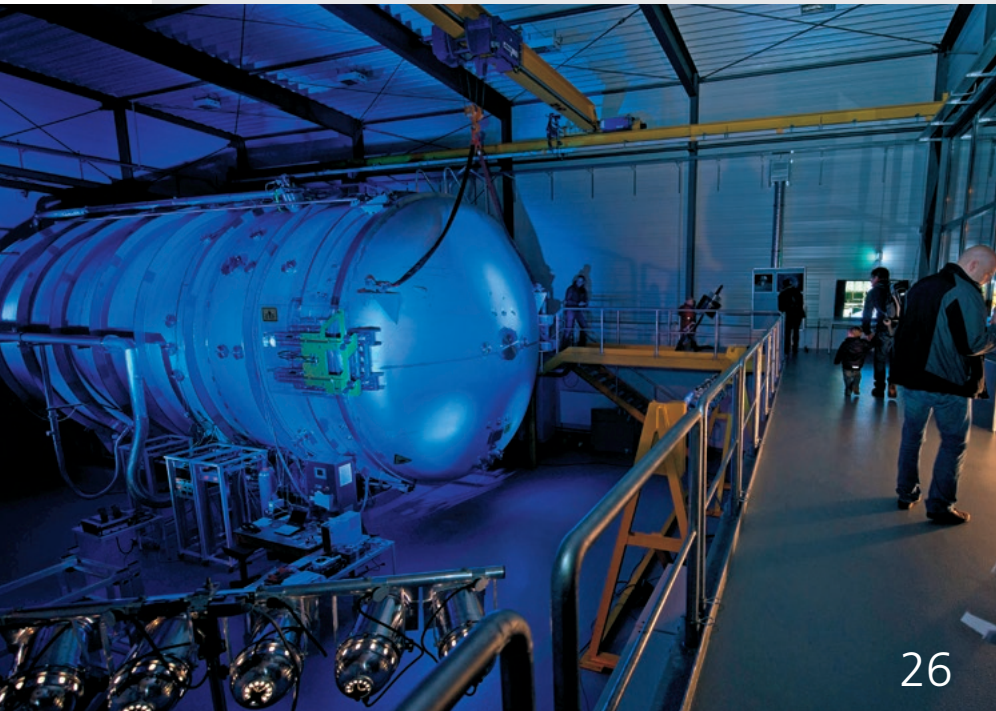
Per Mausklick durch die Böe

Flugzeugentwicklung am Hochleistungsrechner

Tarantel-Nebel in Sicht
Mit SOFIA unterwegs

Die treibende Kraft ...
von Solarforscher Marc Röger

DLR magazin140



26

Göttingen: Zukunftsprojekte auf historischem Boden

Die Wiege der modernen Aerodynamik steht im niedersächsischen Göttingen. In den letzten 100 Jahren ist die Stadt an der Leine um die Forschungsgebäude herumgewachsen. Für eine Erweiterung über das ursprüngliche Gelände hinaus war kaum Platz. Im vergangenen Jahr jedoch konnte das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt ein großes Areal des benachbarten Max-Planck-Instituts für Dynamik und Selbstorganisation übernehmen. Damit ist nun genügend Raum vorhanden, um zukünftig modernste Forschungsanlagen, wie die Vakuumkammer für Ionentriebwerke (Bild von der Göttinger Nacht des Wissens), auf historischem Boden zu betreiben.

Editorial	3
EinBlick	4
Gastbeitrag Svenja Schulze: Forschen für den Fortschritt	6
Meldungen	8
Heute schon wie morgen fliegen Im Flugsimulator AVES auf Flight Level Zero	10
Per Mausclick durch die Böe Mit C ² A ² S ² E zum Erstflug im Rechner	14
Reportage Mit SOFIA in Sichtweite zum Tarantel-Nebel	18
Hightech auf vier Pfeilern Glanzstück in Augsburg: die Roboteranlage	22
Das neue Gesicht des DLR Göttingen Zukunftsprojekte auf historischem Boden	26
Datentransfer via Lichtstrahl DLR-Ausgründung ViaLight ausgezeichnet	30



Fernerkundung ganz nah Unterwegs in Satellitenaufnahmegebieten	32
Sechzehn Tonnen in der Schwebe Rekord beim Kleben mit der richtigen Technik	38
Pionier auf schmutzigem Schneeball Rosetta-Mission: Lander Philae bald am Ziel	40
Weltraummeldungen	44
Porträt Solarforscher Marc Röger	46
In Museen gesehen Unterwegs in München und Oberschleißheim	50
Interview Ralf Jaumann zum neuen Marsbuch	56
Rezensionen	58



Liebe Leserinnen und Leser,

es gibt Momente, die bleiben einem ewig in Erinnerung. Der Augenblick, in dem ein neuer Erdenbürger sich ans Licht der Welt kämpft und sogleich die ganze Aufmerksamkeit seiner Umgebung geschenkt bekommt, gehört sicher dazu. Oder auch eine Auszeichnung für eine hervorragende Forschungsarbeit, eine geniale Unternehmensgründung oder ein erfolgreicher Bühnenauftritt.

Auf Ereignisse, die im öffentlichen Gedächtnis Spuren hinterließen, blicken wir am Ende eines Jahres gern zurück. Unverhofft erhielt das DLR im Herbst 2013 auf einem Gebiet öffentliche Anerkennung, das wahrlich nicht zu den Hauptaufgaben eines Forschungszentrums zählt: Der DLR_Science_Slam wurde mit dem Internationalen Deutschen PR-Preis in der Kategorie Interne Kommunikation gewürdigt. Was das im DLR-Magazin, das sich bekanntermaßen an die Öffentlichkeit außerhalb des DLR wendet, erwähnenswert macht, sind zwei Aspekte: Wir beschritten Neuland, indem wir Wissenschaft auf die Bühne brachten und Mitarbeiter ebenso wie unsere Gäste im besten Sinne des Wortes unterhielten. Und unsere Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler bekamen eine Plattform, auf der bis dato verborgene Talente öffentlich wurden. Dass dieser Mut zum Infotainment außerhalb des DLR wahrgenommen und gewürdigt wurde, war für alle Beteiligten des DLR ganz sicher ein Moment, der in Erinnerung bleibt.

Von anderen bewegenden Momenten im DLR-Leben berichtet dieses Magazin: Unser ehemaliger Luftfahrtredakteur erlebte die Tücken eines Hubschrauberfluges im nagelneuen Flugsimulator des DLR Braunschweig und weiß nun aus eigener Erfahrung, wie kompliziert es ist, nicht nur einen Hubschrauber zu fliegen, sondern vor allem neu entwickelte Flugtechniken zu testen und zu qualifizieren. Wir waren in einer langen und kalten Nacht am Südhimmel unterwegs und konnten miterleben, wie die fliegende Sternwarte SOFIA mit ihrem gewaltigen 2,5-Meter-Teleskop auf einer überaus erfolgreichen Mission Daten aus den Tiefen des Weltraums sammelte. Beeindruckt hat uns die schiere Größe einer Roboteranlage, in der Greifarme von der Decke hängen, ganz präzise Streifen aus kohlefaserverstärktem Kunststoff packen, transportieren und so die Flugzeugproduktion effizienter machen können. Und sogar von einem Weltrekord können wir berichten: Die 30.000 Besucher am Tag der Luft- und Raumfahrt konnten live mitverfolgen, wie ein 28-Tonner von einem kleinen geklebten Bolzen gehalten wurde. Die DLR-Werkstoff-Forscher erläuterten, worauf es dabei ankommt.

Doch die großen Momente sind nicht immer an Rekorde gebunden. Oft kommen sie leise und unauffällig daher, verbergen sich in Alltagssituationen, wie Wissenschaftler des Deutschen Fernerkundungsdatenzentrums im DLR bei ihren Forschungsaufenthalten in China und Afrika erfuhren. Oder sie stecken in scheinbar endlosen Messreihen. Manchmal wird aus unzähligen Daten ein Buch, wie im Fall der europäischen Mission Mars Express, mit der die im DLR entwickelte Hochleistungskamera nun schon seit zehn Jahren für beeindruckende Bilder vom Roten Planeten sorgt. Den fertigen Band erstmals aufzuschlagen und den Geruch frisch gedruckten Papiers einzuatmen, dürfte für die beiden DLR-Autoren auch so ein besonderer Moment des Jahres 2013 gewesen sein.

In diesem Sinne wünsche ich all unseren Leserinnen und Lesern einen guten Jahresausklang – mit Augenblicken, die in Erinnerung bleiben.

Sabine Hoffmann
Leiterin DLR-Kommunikation



EinBlick

Zeugen einer bewegten Marsgeschichte

Dieses in Regenbogenfarben kodierte Bild zeigt den Krater Becquerel auf dem Mars. In ihm befindet sich ein fast 1.000 Meter hoher Berg aus Sedimentschichten, hier in Blaugrün dargestellt. Seine Form ähnelt der des afrikanischen Kontinents, nur gespiegelt. Er zeugt von der bewegten Klimageschichte des Roten Planeten. Mit den Stereobildern der HRSC-Kamera, die vom DLR entwickelt wurde und seit zehn Jahren an Bord der Raumsonde Mars Express erfolgreich betrieben wird, lassen sich topografische Geländemodelle berechnen. Aus ihnen kann dann für jeden abgebildeten Punkt die Höhe über oder unter einer Bezugsfläche (vergleichbar etwa mit dem Meeresspiegelbezug auf der Erde) herausgelesen werden. So liegt die Region Arabia Terra (im Bild rote und grüne Flächen) 4.000 bis 5.500 Meter über der Bezugsfläche und die tiefsten Stellen im Krater Becquerel (dunkelblau) sogar 7.000 Meter darunter.

Über den Mars erschien im Oktober 2013 ein Buch der beiden DLR-Wissenschaftler Prof. Dr. Ralf Jaumann und Ulrich Köhler. Lesen Sie dazu ein Interview mit Ralf Jaumann auf Seite 56 dieses Magazins.

Bild: ESA/DLR/FU Berlin (G. Neukum)

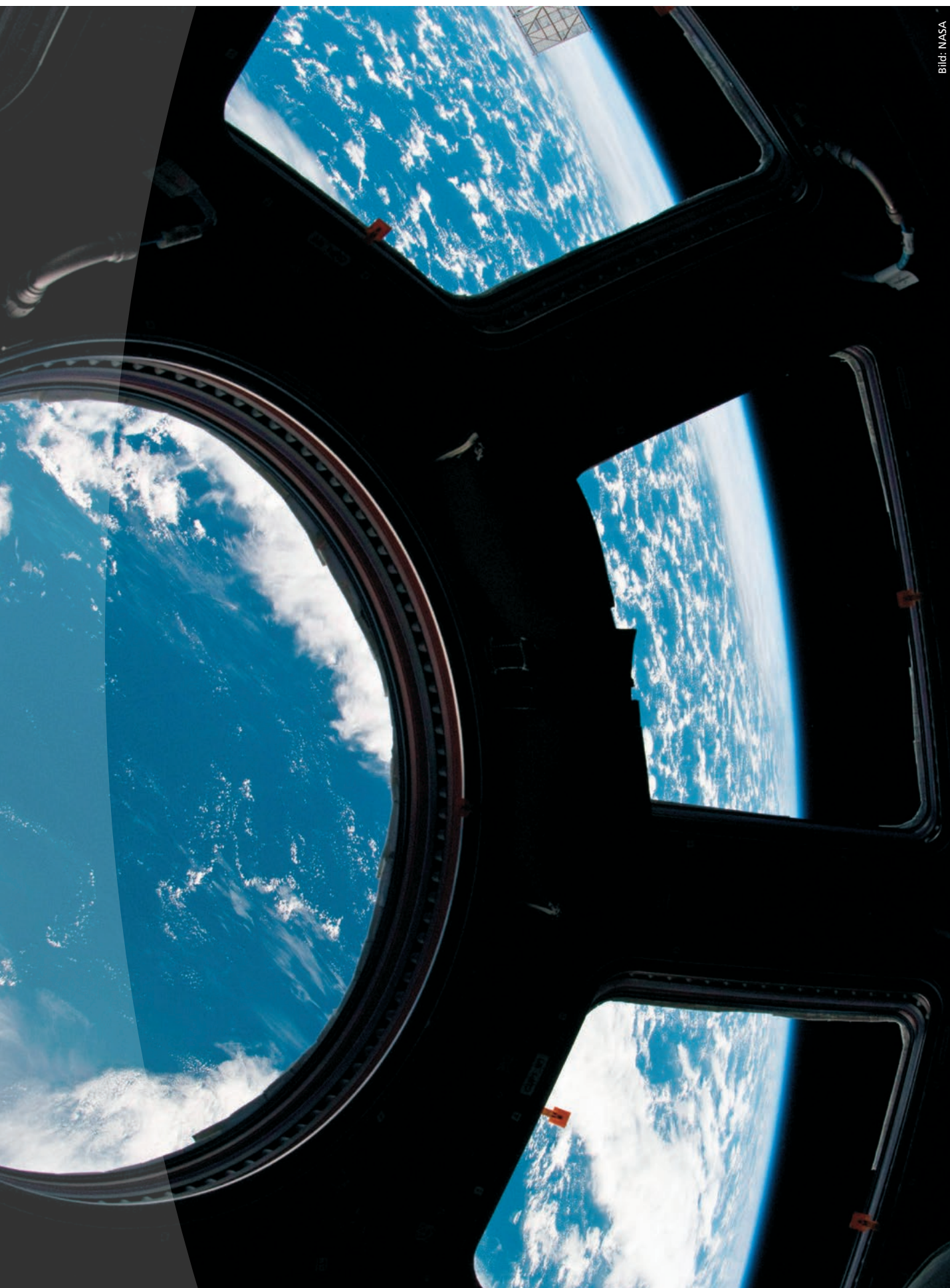


Bild: NASA

Blick aus der Kuppel der Internationalen Raumstation auf die Erde, aufgenommen am 3. März 2010 von einem Mitglied der fünfköpfigen Crew der ISS-Expedition 22

Forschen für den Fortschritt

Das DLR ist ein Aushängeschild für Spitzenforschung made in NRW

Von **Svenja Schulze**

Der Film „Gravity“ ist der Kassenschlager des Kinoherbstes 2013. Ein Erfolgsgeheimnis dieses Blockbusters ist der außergewöhnliche Ort seiner Handlung: Er spielt im Weltraum. Seit jeher üben die unendlichen Weiten eine besondere Faszination auf die Menschen und die Wissenschaft aus.

Diese Faszination des Unbekannten hat auch im DLR ihren festen Platz. Nicht nur im Bereich der Raumfahrtforschung gilt: Ein allein auf wissenschaftlicher Neugier basierender Pioniergeist war der Treibstoff für so viele bahnbrechende Erkenntnisse der Menschheitsgeschichte. Heute nennen wir das Grundlagenforschung. Sie legt die Basis für alles, was folgt.

Ohne Grundlagenforschung werden wir auf die großen Zukunftsfragen, vor denen die Menschheit heute steht, keine Antworten finden. Die Gesellschaft stellt diese Fragen offensiv und sowohl die Wissenschaft als auch die Politik müssen sich diesen Fragen stellen. Die Forschungspolitik der Landesregierung von Nordrhein-Westfalen basiert auf der Forschungsstrategie „Fortschritt.NRW“. Wir beschreiben darin, auf welche Herausforderungen wir Antworten suchen und skizzieren Leitplanken unserer Forschungspolitik. Die Arbeit des DLR und die Ausrichtung von „Fortschritt.NRW“ passen sehr gut zueinander.

Das DLR ist ein internationales Aushängeschild deutscher Forschung und mit seinen 2.500 Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern allein in Köln, Jülich und Bonn ein Schmuckstück für die Forschungslandschaft in NRW. Trotz dieser hervorgehobenen Stellung steht in Köln – und an allen anderen Standorten – kein Elfenbeinturm. Die im wissenschaftspolitischen Diskurs allzu oft als Phrasen missbrauchten Ideale inter- und transdisziplinärer Forschung werden hier mit Leben gefüllt. Die regionale Vernetzung mit Hochschulen und Unternehmen ist dafür genauso wichtig wie die internationale Zusammenarbeit oder die Vielfalt der wissenschaftlichen Disziplinen im DLR selbst.

Die Bandbreite der Forschung im DLR reicht von der Grundlagenforschung bis zur konkreten Entwicklung zukunftsfähiger Produkte. Das DLR leistet einen Beitrag zur Lösung der großen gesellschaftlichen Herausforderungen. Ob Klimawandel, Energie oder Mobilität: Viele Zukunftsfragen werden wir ohne die Wissenschaft, ohne Spitzenforschung wie hier im DLR, nicht lösen können.

Auch über sein Kerngeschäft hinaus nimmt das DLR seine gesellschaftliche Verantwortung wahr. Ein gutes Beispiel hierfür ist seine intensive Nachwuchsarbeit. Initiativen wie die DLR_School_Labs begeistern Kinder und Jugendliche für Forschung. Nur wenn wir es heute schaffen, den Nachwuchs für MINT-Themen zu gewinnen, wird es auch morgen noch Spitzenforschung made in Germany geben. Das DLR leistet hier einen wichtigen Beitrag.

Ich wünsche mir, dass das DLR auch in Zukunft die Fragen aufnimmt, die die Gesellschaft an die Wissenschaft stellt. Einige dieser Fragen liegen noch weit entfernt am Horizont, andere brauchen eine schnelle Lösung. Das DLR kann sowohl mit der Grundlagen- als auch mit der anwendungsorientierten Forschung entscheidende Beiträge leisten. Beides gehört zusammen! Den Weg zum Ziel bestimmen dabei allein die Forscherinnen und Forscher im DLR. Es ist die große Stärke des DLR und eine Voraussetzung für öffentlich finanzierte Forschung von Weltrang, dass die Wissenschaftler nach den Sternen greifen können und zugleich mit beiden Beinen fest in der Mitte der Gesellschaft stehen. ●



Svenja Schulze,
Ministerin für Innovation, Wissenschaft und
Forschung des Landes Nordrhein-Westfalen

Meldungen

Weltraumschrott im Visier

Nach der Abend- und vor der Morgendämmerung klarer Tage sitzt ein kleines Team von Forschern des DLR Stuttgart vor einem Teleskop und beobachtet den Himmel. Doch sie betrachten keine Sterne oder Planeten – sie halten nach Schrott Ausschau, Weltraumschrott. Ihre Aufgabe ist es, Weltraumobjekte zu beobachten und ihre Flugbahn zu vermessen. Dazu gehören nicht nur ausgediente Flugkörper und Trümmerteile, sondern auch aktive Satelliten und die Internationale Raumstation ISS, die sich alle im niedrigen Orbit der Erde – bis zu 1.000 Kilometer entfernt – befinden.

Mit den Messungen möchten die Forscher vom DLR-Institut für Technische Physik die Flugbahn von Satelliten genauer erfassen. Als Grundlage für die Beobachtungen dient ein bestehendes Verzeichnis von Weltraumobjekten, das ungefähr den Zeitpunkt angibt, wann welches Objekt am Himmel zu sehen ist. Dazu fährt das Spiegelteleskop auf die vorbestimmte Position und wartet, bis das Ziel im Sichtfeld auftaucht. Sobald das Objekt erscheint, muss es schnell gehen: Die zu beobachtenden Gegenstände haben eine Geschwindigkeit von rund acht Kilometern pro Sekunde und sind daher nur wenige Minuten am Himmel sichtbar. Dabei macht das Teleskop zehn bis 20 Aufnahmen vom Überflug. Durch die genauen Vermessungen mit dem Spiegelteleskop und die anschließenden Flugbahnberechnungen sollen auf lange Sicht Zusammenstöße mit aktiven Objekten, wie zum Beispiel Satelliten, verhindert werden.

s.DLR.de/8pp9



Auf der Stuttgarter Uhlandhöhe wird das Verfahren zur Detektion von Weltraumschrott getestet. Ein nächster Schritt könnte der Nachweis der Objekte mittels Laser sein.

Besser schlafen auf Langstreckenflügen

Wenn das Flugzeug startet, spüren die Passagiere meist schon nach wenigen Sekunden den sinkenden Luftdruck auf den Ohren. Was sie jedoch nicht wahrnehmen, ist die gleichzeitige Abnahme von Sauerstoffmolekülen in der Luft. Das wirkt sich besonders auf den Schlaf der Passagiere und die Ruhephase der Piloten aus, vermuten die Forscher des DLR-Instituts für Luft- und Raumfahrtmedizin. Ein erholsamer Schlaf ist für die Piloten essenziell, da von ihrer Leistungsfähigkeit auch die Sicherheit des Fluges abhängt.

Mit Hilfe einer Unterdruckkammer untersuchten die Forscher den Zusammenhang von Luftdruck, Sauerstoffkonzentration und Schlafqualität. Dazu änderten sie den sogenannten Sauerstoffpartialdruck, bei gleichbleibendem Kabineninnen- druck. Für den zusätzlichen Sauerstoff entnahmen sie im gleichen Maße Stickstoff aus der Luft. Über ein am DLR selbst entwickeltes Regelungssystem können die Forscher per Computersteuerung auch sehr schnelle Druckwechsel präzise in der Anlage simulieren. Diese Möglichkeit macht die Druckkammer in Köln-Porz einmalig. Bei der Studie wechselten sich zwei vierköpfige Personengruppen von Nacht zu Nacht ab. Von außen überwachten die Mediziner Herzschlag, Atmung und Bewegung der Probanden sowie die Aktivität des Gehirns und die Sauerstoffsättigung des Bluts. Die Ergebnisauswertung läuft noch bis Ende 2013.

s.DLR.de/i1mp



Während der Versuchsreihe ging es jeden Abend um 23 Uhr für vier Probanden in die Unterdruckkammer. Dabei standen sie in ihrem Schlaf die ganze Zeit unter gesundheitlicher Beobachtung.



50 Jahre Forschung im Überschall

Raumfahrzeuge, Flugzeuge und Hubschrauber – seit 50 Jahren werden sie in Göttingen getestet und erprobt. Der 1963 gebaute Transsonische Windkanal in Göttingen simuliert, wie sich Objekte im sogenannten transsonischen Bereich verhalten. Dieser Bereich beschreibt Geschwindigkeiten nahe der Schallgeschwindigkeit und darüber hinaus. Dazu ist der Transsonische Windkanal für Versuche mit mehr als doppelter Schallgeschwindigkeit ausgelegt. Für die Grundlagenforschung werden darin neuartige Steuerungssysteme, der Strömungslärm in Flugzeugen oder der Einfluss von Böen und Turbulenzen auf Flugzeuge untersucht. Im Auftrag der internationalen Luft- und Raumfahrtindustrie übernimmt der Windkanal zudem weitere Messungen.

In den Jahren 1992 und 2009 ist der Windkanal stark modernisiert und seine Leistungen dabei ausgebaut worden. Heute ist er 50 Meter lang und zwölf Meter hoch. Über einen Verdichter strömen bis zu zwölf Megawatt Luft an den maßstabsgetreuen Modellen vorbei. Diese Strömungen werden im Windkanal sichtbar gemacht und vermessen.

s.DLR.de/j61r



Techniker Andreas Grimme richtet das Modell des Versuchsflugzeugs X31 für den Test im Windkanal ein. Die Modelle müssen Winde bis zu doppelter Schallgeschwindigkeit aushalten.

SAMURAI im Dienst für leisere Triebwerke

Die Flughafenanwohner träumen noch davon – mit SAMURAI soll es möglich werden. Das Messtechnik-Projekt (Synergy of advances measurement techniques for unsteady and high Reynolds number aerodynamic investigations) hat zum Ziel, Lärm, der bei Triebwerken entsteht, zu ermitteln und zu simulieren. So sollen langfristig leisere Triebwerke für Flugzeuge möglich werden.

Dazu vermessen die DLR-Wissenschaftler mit Lasertechnik und Mikrofonen die Lärmquellen im Triebwerksstrahl und am Hauptrotor. Das Laserlicht soll turbulente Strömungen im Ansaug- und Abstrahlbereich sichtbar machen. Durch diese Dichte- und Geschwindigkeitsschwankungen wird Schall verursacht, der sich zu einem Lärmpegel aufaddieren kann. Die Mikrofone messen diesen jeweiligen Lautstärkepegel der im Laserlicht sichtbaren Strömungen.

Für die Tests am Hamburger Flughafen nutzen die Lärmforscher das DLR-Forschungsflugzeug A320-ATRA. ATRA ist der optimale Testkandidat für die Experimente, da es sich bei seinen Triebwerken um häufig in der Luftfahrt vertretene Modelle handelt.

s.DLR.de/hid8



Für die Testläufe befindet sich das Forschungsflugzeug ATRA in einer Lärmschutzhalle der Lufthansatechnik auf dem Hamburger Flughafen

DLR-WEBCAST MIT ASTRONAUT ALEXANDER GERST



s.DLR.de/hz4d

Der nächste Deutsche im Weltall – bald heißt es für Alexander Gerst Koffer packen: Am 28. Mai 2014 wird er an Bord einer Sojus-Rakete zur ISS aufbrechen. Im DLR Webcast spricht er über sein Training, das Leben im All und die Spezialaufgaben eines jeden Raumfahrers.

BILDERSUCHE LEICHT GEMACHT



s.DLR.de/3v1y

Creative Commons bedeutet „schöpferisches Allgemeingut“: Inhalte wie Bilder, Videos oder Texte, die unter einer CC-Lizenz stehen, dürfen von der Öffentlichkeit kostenlos genutzt werden. Creativecommons.org bietet mit der CC Search ein wirklich hilfreiches Tool dafür!

EINGEFRORENES EUROPA: UMWELTSCHUTZ-DOKU



s.DLR.de/jv8k

Wie wäre das Klima in Europa ohne den Golfstrom? In der knapp einstündigen englischen Dokumentation „The Gulf Stream and The Next Ice Age“ der Umweltschützer Nicolas Koutsikas und Stephan Pouille wird der Zusammenhang zwischen Golfstrom und Klimawandel beleuchtet und über mögliche Folgen gesprochen.

INTERAKTIVE LERNSOFTWARE ZUM THEMA ELEKTRIZITÄT



s.DLR.de/9x3i

Welche Materialien leiten Strom, wie baut man einen Stromkreis und wo kann Strom gespart werden? Der Energieversorger EWE bietet hierzu ein interaktives Tool an, das nicht nur Nachwuchsforscher interessieren dürfte.

RAUMFAHRT-WISSENSTEST AUF GEO.DE



s.DLR.de/2qcx

Im Geo-Wissenstest über die Raumfahrt lässt sich nicht nur der intergalaktische Kenntnisstand überprüfen, sondern auch geschichtliches Know-how. Hat man falsch getippt, gibt es als Trostpreis die richtige, zuweilen überraschende Antwort.

SPRITPREISMONITOR: MARKTTRANSPARENZ-STELLE DES BUNDESKARTELLAMTS



s.DLR.de/4skp

Mitte September 2014 ging das Projekt in den Probelauf: Das Bundeskartellamt möchte die Preisgestaltung für Kraftstoffe transparenter machen. Über fünf zugelassene Verbraucher-Informationsdienste können Autofahrer die günstigste Tankstelle in der Nähe suchen.

INTERAKTIV: MEILENSTEINE DER LUFTFAHRT VON 1783 BIS 2005



s.DLR.de/b27t

Der Zeitstrahl auf Planet Wissen gibt Einblicke in die Meilensteine der Luftfahrt. Wussten Sie, dass der erste Motorflug bereits 1903 stattfand? Entdecken Sie die spannende Geschichte der Eroberung des Himmels.

Heute schon wie morgen fliegen

Hinter einer fünf Meter hohen Glasfassade präsentieren sie sich den Passanten: Zwei mit Elektronik vollgestopfte High-tech-Flugsimulatoren. In sich bergen sie ein Flugzeug- und ein Hubschrauber-Cockpit. Am 5. Juni 2013 nahm das DLR das Simulatorzentrum AVES (Air Vehicle Simulator) am DLR-Standort Braunschweig in Betrieb. Die Forscher untersuchen dort, wie Piloten mit neuen Techniken im Flug zurechtkommen und wie sie das Pilotentraining im Simulator weiter verbessern können. Die Flugversuchsvorbereitungen für den größten DLR-Forschungsflieger ATRA und den fliegenden Hubschrauber-Simulator (FHS) finden ebenfalls in der modernen Forschungsanlage statt. Der langjährige DLR-Luftfahrtredakteur Hans-Leo Richter war dort – und machte seine ganz eigenen Erfahrungen mit den Simulatoren ...

Mit dem Flugsimulator AVES Forschung auf Flight Level Zero

Von Hans-Leo Richter



Blickfang in der Halle des Simulatorzentrums AVES ist der Full-Flight-Simulator, eine auf beweglichen Stelzen fixierte Kugelkonstruktion für die wahlweise Aufnahme des Airbus- oder des Helikopter-Cockpits

Flughöhe 3.500 Fuß, Geschwindigkeit 150 Knoten, Kurs 260 Grad west – der Airbus A320 befindet sich im final, im direkten Landeanflug auf die Landebahn 26 des Forschungsflughafens Braunschweig. Die Sicht ist exzellent, die nur geringen Turbulenzen kann ich mit dem prächtig in der Hand liegenden Sidestick mühelos ausgleichen. Mit Hilfe des horizontalen und des vertikalen magentafarbenen Rhombus jeweils in der Mitte der Skala zeigt mir das Instrumentenlandesystem ILS auf dem „primary flight display“ direkt in meinem Blickfeld, dass der Airbus den Landekurs wie auch den vorgegebenen Gleitpfad absolut korrekt einhält.

Der Copilot setzt stufenweise die Landeklappen, fährt bei 2.000 Fuß das Fahrwerk aus. Mit nur noch sehr geringen Steuererschlägen am Sidestick halte ich den Airbus genau auf die Center Line der vorausliegenden Landebahn. Schon erteilt mir die synthetische Stimme des Radarhöhenmessers die präzisen Höhenangaben, zunächst in Hunderter-Schritten, dann in Zehner-Abstufungen. Bei 30 Fuß nehme ich die Schubhebel voll zurück, und schon setzt der Airbus auf. Sofort ziehe ich die beiden Reverserhebel und betätige damit die Schubumkehr der Triebwerke, zugleich bremsst das Auto-Brake-System den tonnenschweren Airliner spürbar ab. Geschafft! – War doch gar nicht so übel.

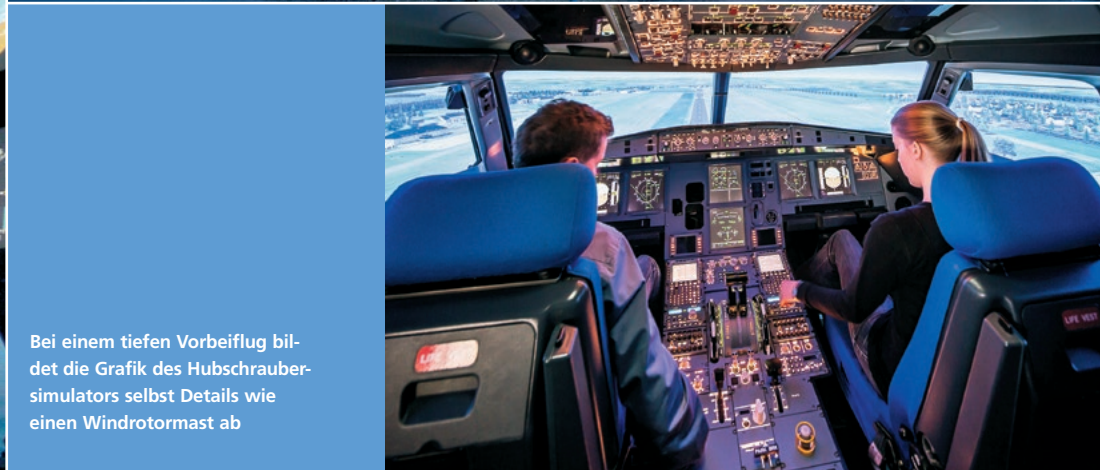
Ende eines realen Fluges? Wohl kaum – ich besitze nicht einmal eine Fluglizenz für kleine Ultraleicht-Flugzeuge, geschweige denn eine ATPL, die Verkehrspilotenlizenz für die „dicken Brummer“. Und mein Copilot ist ebenfalls kein lizenzierter Flugzeugführer, sondern Dr.-Ing. Holger Duda, Leiter der Abteilung Flugdynamik und Simulation des DLR-Instituts für Flugsystemtechnik in Braunschweig. Zudem ist er Leiter des Gesamtprojekts AVES (Air Vehicle Simulator), des neuen Simulatorzentrums des DLR. Mit diesem Simulatorflug zeigt mir Dr. Duda das höchst realistische Flugerlebnis dieser in Europa einzigartigen Versuchseinrichtung, die es – unter fachkundiger Anleitung – sogar mir als fliegerischem Laien ermöglicht, eine hinlänglich ordentliche Landung hinzulegen.

Zwei vollwertige Simulatoren

Äußeres Zeichen von AVES ist vor allem der durch seine weiße Kuppel auffallende, dank der drei Doppelstelzen über sechs Freiheitsgrade bewegliche Full-Flight-Simulator in der großen verglasten Halle des Simulatorzentrums. Im hinteren Teil der Halle

DLR-Pilotin Insa Pruter am Steuer des Helikopters EC135 im AVES-Simulator. Sämtliche Bedienelemente und Anzeigen entsprechen dem Original des Forschungshubschraubers FHS.





Bei einem tiefen Vorbeiflug bildet die Grafik des Hubschrauber-simulators selbst Details wie einen Windrotormast ab

Außenansicht des AVES-Komplexes. Gut erkennbar: die Kugelkonstruktion des Full-Flight-Simulators (links). Bild links unten: Blick in das Cockpit des Airbus A320 während eines Simulationsfluges.

Institutsleiter Prof. Dr. Stefan Levedag fungierte am Tag der offiziellen Inbetriebnahme von AVES auch als Instructor: Bei einem simulierten Flug mit dem Airbus A320 gab er seinen Gästen aus Politik und Forschung Tipps für die sichere Landung



befindet sich zudem eine weitere Hightech-Versuchseinrichtung, die der stationären Flugsimulation dient. Das Einzigartige dieser Versuchseinrichtung ist vor allem der modulare Aufbau: Beide Simulatorkuppeln können nämlich wechselweise mit dem Cockpit eines Transportflugzeugs, wie eben des Airbus A320, oder mit dem Cockpit eines Hubschraubers, zum Beispiel des Eurocopter EC135, ausgerüstet werden.

Damit ist die Aufgabe des Simulators auch schon umrissen. Mit ihm sollen nicht etwa künftige Piloten lizenziert werden, die Anlage dient ausschließlich wissenschaftlichen Vorhaben des DLR sowie der hieran beteiligten Technischen Universität Braunschweig, was den Anspruch noch einmal erhöht. Professor Dr. Stefan Levedag, Leiter des Instituts für Flugsystemtechnik, unterstreicht die Einzigartigkeit des Simulatorzentrums und weist auf die Bedeutung der Anlage auch für die deutsche Luftfahrtforschung hin: „Das neue Simulatorzentrum gibt uns in einzigartiger Weise die Möglichkeit, die dynamische Interaktion zwischen Pilot, Flugzeug und seinen Systemen in realistischen Szenarien zu untersuchen. Damit können wir beispielsweise drängende Fragestellungen der zukünftigen Automatisierung von Flugzeugen und der Ausbildung bearbeiten und für völlig neue Konfigurationen frühe Erkenntnisse zur Fliegbarkeit gewinnen.“

Die bewegliche Kuppel ruht auf sechs Teleskopstelzen, die in ihrem Umfang deutlich stärker ausgefallen sind als diejenigen kommerzieller Simulatoren. Im Unterschied zu jenen wird der DLR-Simulator elektro-pneumatisch gesteuert. Dieses System ersetzt die ansonsten übliche Hydraulik, die einen höheren Service-Aufwand benötigt.

Einzigartige Rundumsicht

Eine weitere, ganz erhebliche Unterscheidung gegenüber herkömmlichen Simulatoren ist nicht auf den ersten Blick zu sehen: Der DLR-Simulator bietet den Versuchspiloten und Wissenschaftlern eine einzigartige 240-Grad-Rundumsicht, in der Vertikalen weiß vor allem der Hubschrauberpilot einen 90-Grad-Sichtbereich zu schätzen. Im Gegensatz dazu verfügen kommerzielle Simulatoren über einen horizontalen Sichtbereich von bes-

tenfalls 160 Grad, in der Vertikalen gerade 40 Grad, was für Flugzeuge auch genügen mag.

Eine sehr aufwändige Technik mit jeweils 15 LED-Projektoren ermöglicht diese nahezu vollständig realistische Außensicht. Mindestens ebenso eindrucksvoll ist die benötigte Rechenkapazität: Ein Cluster von 60 Einzelrechnern versorgt Projektoren und Steuerungssystem mit einer Unmenge von Daten. Die hierfür erforderliche Software wurde eigens für diese hochspeziellen Anforderungen vom DLR entwickelt.

Die Palette der künftigen Aufgaben und Nutzungsmöglichkeiten von AVES umfasst drei große Bereiche. Zum einen werden auch hier – wie bei den bereits vorhandenen kleineren Bodensimulatoren des DLR – im Rahmen der Flugversuchsvorbereitung Experimente für den Airbus A320 ATRA implementiert und im Vorfeld der eigentlichen Flugversuche ausgiebig getestet. Außerdem bietet der Simulator vielfältige Möglichkeiten zur Erprobung von Software des Forschungshubschraubers FHS, eines erheblich modifizierten Eurocopter EC135. Mit Hilfe eines aktiven Sidesticks – eines für Hubschrauber völlig neuen Steuerungsorgans – sollen die Flugbereichsgrenzen des Hubschraubers noch besser erforscht und vorherbestimmt werden. „Auch völlig neue, sogar lenkradähnliche Steuerorgane sind denkbar und könnten mit AVES erprobt werden“, ergänzt Dr. Holger Duda.

Zum anderen bieten die beiden Simulatoren die Möglichkeit, künftige Flugzeugkonfigurationen zu untersuchen und – noch weit im Vorfeld realer Prototypenflüge – experimentell zu bewerten. So sind die Wissenschaftler zum Beispiel schon heute sehr daran interessiert, welche technischen und fliegerischen Herausforderungen künftige Nurflügel-Transportflugzeuge an Konstrukteure und Piloten stellen. Darüber hinaus sollen auch Flugeigenschaften herkömmlicher Flugzeuge und Möglichkeiten zu deren Verbesserung evaluiert werden.

Ein dritter Aufgabenschwerpunkt umfasst Untersuchungen zur Bewertung des Trainingsstandards angehender Piloten. In enger Zusammenarbeit mit der Hamburger Abteilung Luft- und Raumfahrtpsychologie des DLR-Instituts für Luft- und

Raumfahrtmedizin wollen die Wissenschaftler weitgehende objektive Kriterien für die Leistungsbeurteilung der Probanden erarbeiten. So hat bereits vor Kurzem ein Gemeinschaftsprojekt mit Airbus und Boeing begonnen, in dessen Mittelpunkt die weitere Verbesserung des Trainings im Flugsimulator steht.

Neben der Einbindung des Instituts für Luft- und Raumfahrtmedizin ist auch eine Kooperation mit dem Braunschweiger Institut für Flugführung geplant, hier bietet eine Vernetzung mit dem Tower-Simulator für die Simulation spezieller Flugverkehrsszenarien vielfältige Möglichkeiten. In diese Richtung zielt überdies ein Kooperationsvorhaben mit der Technischen Universität Braunschweig zur Nutzung des Simulators durch Studenten und Universitätswissenschaftler. Eine wichtige externe Unterstützung erhielt die neue Versuchseinrichtung zudem durch die Firma Rheinmetall, die im Bereich der Simulationstechnik über ausgewiesene System-Expertise verfügt und diese beispielsweise bereits für das Hubschrauber-Simulatorzentrum in Bückeburg maßgeblich eingebracht hat.

Austauschbares Cockpit

Die einzigartige Variabilität von AVES liegt vor allem in der Austauschbarkeit der Cockpits. Zahlreiche Versuchsaufgaben erfordern die dynamische Simulation, bei anderen Flugexperimenten können die Wissenschaftler auf die Bewegungseindrücke verzichten. Der Wechsel eines Cockpits benötigt etwa drei Stunden. „Dabei“ – so betont Torsten Gerlach, Gruppenleiter Simulationstechnik aus dem Institut für Flugsystemtechnik – „benötigt die Handhabung der jeweils 16 Systemstecker noch die geringere Zeit. Aufwändig ist vor allem die jeweilige Montage und Demontage der zahlreichen Schraubverbindungen für die Hebevorrichtung – immerhin wiegt eine Cockpit-Einheit rund vier Tonnen.“ Je nach Auslegung der Forschungsprojekte wird ein solcher Wechsel mehrmals im Jahr erforderlich.

Eine derart zukunftsweisende Forschungs- und Versuchseinrichtung hat natürlich ihren Preis. So belaufen sich die Gesamtinvestitionen auf zehn Millionen Euro, wozu die Helmholtz-Gemeinschaft neun Millionen sowie die Technische Universität

Braunschweig eine Million Euro beigetragen hat. Nicht ohne Stolz betont Dr. Duda: „Wir haben die Einrichtung so stringent geplant, dass wir sowohl den Budgetrahmen als auch die auf drei Jahre angelegte Bauphase präzise einhalten konnten.“

Mit dem Helikopter in die Rechtskurve

Erneuter Szenenwechsel: Noch einmal sitze ich auf dem Pilotensitz, diesmal allerdings im stationären Cockpit des Simulator-Hubschraubers EC135. Wir überfliegen mit etwa 70 Knoten in rund 1.000 Fuß Höhe die Runway des Braunschweiger Forschungsflughafens, als mir Torsten Gerlach die Bedienung überlässt. Im Gegensatz zum Flächenflugzeug habe ich jetzt gleich drei Steuersysteme zu handhaben – und zu koordinieren: Da ist zunächst der mittig vor mir angebrachte „Stick“ für die zyklische Blattverstellung, das heißt für die horizontale Steuerung des Helikopters. Zudem halte ich in der linken Hand den „Pitch“, den Steuerhebel für die kollektive Blattsteuerung, also die vertikalen Bewegungen des Helikopters. Zusätzlich betätige ich mit den Seitenruder-Pedalen den Heckrotor zum Ausgleich des Rotor-drehmoments sowie für nennenswerte Richtungsänderungen.

Mit sehr geringen Steuerausschlägen lege ich jetzt den Helikopter in eine leichte Rechtskurve – und bin auf der Stelle überrascht von der Empfindlichkeit der Steuerung. Aus der leichten Rechtskurve wird ein hektisch korrigierter Steilflug. Die Sache lässt sich doch ein wenig kompliziert an. Offensichtlich habe ich zudem bei diesem Manöver die Flughöhe außer Acht gelassen, wir nähern uns ebenso unerwartet wie schnell dem Erdboden. Gerade noch bringe ich das Fluggerät wieder in die horizontale Lage, da bricht zu allem Überfluss das Heck aus. „Pitch runter“ befiehlt Torsten Gerlach – und mit einer – wie es der unvergessene Lorient formuliert haben würde – etwas „sportlichen“ Landung endet diese Übung. Schon wahr – Meister sind es wirklich nicht, die da mitunter vom Himmel fallen ... ●



Weitere Informationen:
DLR.de/FT

Per Mausklick durch die Böe

Am Anfang steht eine Menge Physik. Und Mathematik. Und natürlich ein Supercomputer, mit dem die Flugzeugentwickler Millionen von Rechnungen durchführen können. Was am Ende dabei herauskommt, ist ein Flieger in einer virtuellen Welt – ein digitales Flugzeug. Per Mausklick wollen es Wissenschaftler zum Fliegen bringen und eine Fülle an aerodynamischen Phänomenen kalkulierbar machen – lange vor dem „echten“ Erstflug. Der Weg dorthin führt über ein Werkzeug, das sich in den vergangenen zwei Jahrzehnten in der Forschung zunehmend etabliert hat: die numerische Simulation. Im Projekt C²A²S²E hat es das DLR nunmehr geschafft, ein weltweit anerkanntes multidisziplinäres Kompetenzzentrum für numerische flugphysikalische Simulation aufzubauen. Jetzt, nach Abschluss des Projekts, lässt ein Ausblick auf den Nachfolger „Digital-X“ auf weitere große Schritte hoffen – in Richtung einer realitätsnahen Vorhersage und damit hin zur Vision von Flugzeugzulassungen am Computer.

C²A²S²E – ein Projekt schafft Grundlagen für die Flugzeugentwicklung der neuen Generation

Von Yvonne Buchwald

Von einem einstigen Mysterium zu einer modernen Mission aufgestiegen, muss die Luftfahrtforschung heute vor allem eines: rasch und effizient auf immer neue Ansprüche an effizientes und ökologisches Fliegen reagieren. „Kein Wunder also, dass die numerische Simulation aus der Arbeit der Forscher nicht mehr wegzudenken ist“, sagt Norbert Kroll. Der erfahrene Mathematiker weiß: „Enorme Fortschritte in der physikalischen Modellierung, den mathematischen Algorithmen und der modernen Computertechnologie machen es möglich, die komplexen Zusammenhänge des Flugverhaltens von Flugzeugen am Computer abzubilden.“



Mit dem C²A²S²E-Cluster ging 2007 in Braunschweig einer der schnellsten Forschungsrechner Europas in Betrieb

Norbert Kroll ist Leiter der Abteilung C²A²S²E im Institut für Aerodynamik und Strömungstechnik des DLR Braunschweig. Ihre Bezeichnung verdankt die Abteilung dem gleichnamigen Projekt – und einer großen Zielsetzung: C²A²S²E (Center for Computer Applications in Aerospace Science and Engineering) – dieser Name steht nicht nur für ein Projekt und für eine Forschungsabteilung, sondern zugleich auch für ein einzigartiges Kompetenzzentrum, eine Art Forschungsverbund für die numerische Simulation. Entstanden ist dieser Expertencampus in einer Innovationspartnerschaft mit Airbus und dem Land Niedersachsen, die das Gesamtprojekt gemeinsam mit dem DLR finanzierten. 2007 nahm C²A²S²E am Forschungsflyhafen Braunschweig seine Arbeit auf. In den vergangenen sechs Jahren hat das DLR entscheidende Voraussetzungen geschaffen und wichtige Denkanstöße gegeben, um numerische Verfahren künftig so weit entwickeln zu können, dass sie eine hochgenaue Simulation eines fliegenden Flugzeugs im gesamten Flugbereich ermöglichen.

Der Weg zu einem Expertencampus für die numerische Simulation

30 Millionen Euro stecken in dem Projekt C²A²S²E. Mit dieser Summe wurde eine Austauschplattform für Wissenschaftler und Experten aus aller Welt geschaffen. Es entstand eine Forschungsumgebung mit neuen Mitarbeitern und mit dem C²A²S²E-Cluster ging einer der schnellsten Hochleistungsrechner Europas in Betrieb, der in der Forschung für flugphysikalische Simulationen genutzt wird.

Fortschritte in der numerischen Simulationstechnologie ermöglichen heute, komplexe Strömungsverhältnisse zu visualisieren – wie dieses Wirbelsystem um ein Flugzeug-Triebwerk



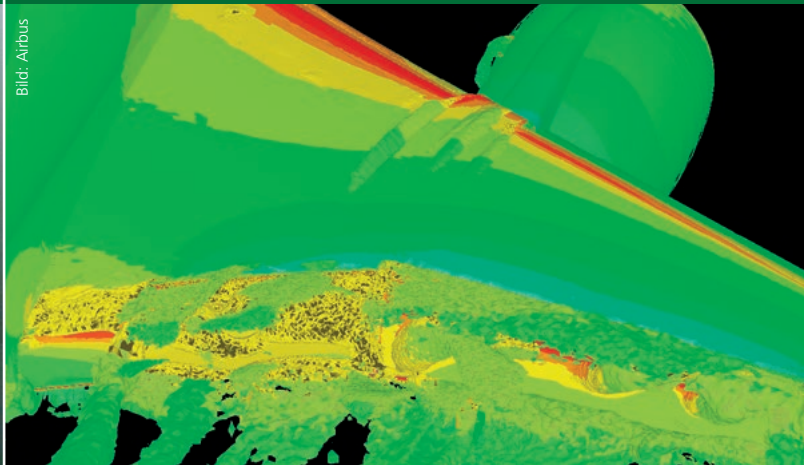
Der im Oktober 2013 errichtete Hochleistungsrechner ist zwar kleiner als sein Vorgänger, dafür aber deutlich schneller: Bis zu 262.000.000.000.000 Rechenoperationen pro Sekunde bewältigt das neue C²A²S²E-Cluster

Rund 60 Wissenschaftler arbeiten jetzt in Braunschweig und Göttingen in der Abteilung C²A²S²E daran, eine Software-Plattform zu errichten, mit der komplexe Strömungsverhältnisse um komplette Flugzeuge simuliert werden können. In verschiedenen Teilprojekten befassen sich die Wissenschaftler mit physikalischen Problemen und mathematischen Fragestellungen. Die Vision: sämtliche Kräfte, die auf ein Flugzeug wirken können, simulieren. „So könnte man jedwede Situation durchspielen“, erklärt C²A²S²E-Ingenieur Ralf Heinrich. „Man wüsste immer lange vor dem Erstflug, wie sich das Flugzeug beispielsweise bei der Landung mit böigem Seitenwind verhält. Bei unbefriedigendem oder gar kritischem Verhalten können dann gezielt Veränderungen am „virtuellen“ Flugzeug vorgenommen und der Flug im Rechner wiederholt werden, bevor die kostspielige Fertigung des Flugzeugs beginnt.“

Vision vom Erstflug im Rechner

Ein multidisziplinäres Werkzeug sollte entwickelt werden, da waren sich die Forscher einig. Denn nicht nur für die Aerodynamik, auch für andere Disziplinen, wie die Strukturmechanik, ist eine Simulationsplattform wie C²A²S²E von enormer Bedeutung. Der große Vorteil der numerischen Simulation: „Man kann mehr sichtbar machen als in herkömmlichen Experimenten. Insbesondere Änderungen der Flugzeuggeometrie, die im Experiment mit hohen Kosten verbunden wären, lassen sich leicht vornehmen“, so Heinrich. Mit den Simulationsergebnissen lassen sich experimentelle Untersuchungen – etwa im Windkanal – dann viel gezielter planen. Die numerische Simulation ermöglicht somit nicht nur sehr detaillierte Einblicke, sondern soll vor allem Kosten und Zeit sparen.

Ein Beispiel aus Heinrichs Arbeit: In einer computergestützten Rechnung gelang es ihm, die Begegnung eines Airbus vom Typ A340 mit einer Windböe zu simulieren. Ziel war es, genau vorherzusagen, welche Belastungen für ein Flugzeug in solch einer Situation auftreten. Mit derartigen Simulationen können die Kräfte, die auf ein Flugzeug wirken, sowie das Verhalten der Maschine deutlich genauer vorhergesagt werden als mit den derzeit in der Industrie für den Flugzeugentwurf verwendeten Software-Werkzeugen. „Ein wesentlicher Bestandteil des C²A²S²E-Vorhabens war es, eine derartige Vorhersagefähigkeit zu entwickeln und der Luftfahrtindustrie zur Verfügung zu stellen“, sagt Heinrich mit Blick auf die simulierte Windböe, die in einer Animation auf seinem Bildschirm gerade auf das virtuelle Flugzeug trifft. Zwar sei man noch weit davon entfernt, ein „digitales Flugzeug“ wie in einem Flugsimulator mal eben mit dem Joystick durch alle möglichen Situationen zu bewegen und



Bei dieser Flugzeugkonfiguration werden die komplexen Strömungsverhältnisse, die bei Start- und Landephase an den Tragflächen auftreten können, farblich visualisiert

zugleich verlässlich alle Werte zu berechnen, einzelne Manöver würden jedoch durchaus schon simuliert. Irgendwann, hofft Ralf Heinrich, soll die numerische Simulationstechnologie erlauben, den Erstflug eines Fliegers zu simulieren und ihn somit „digital“ zu zertifizieren.

Zeit für einen Technologiesprung

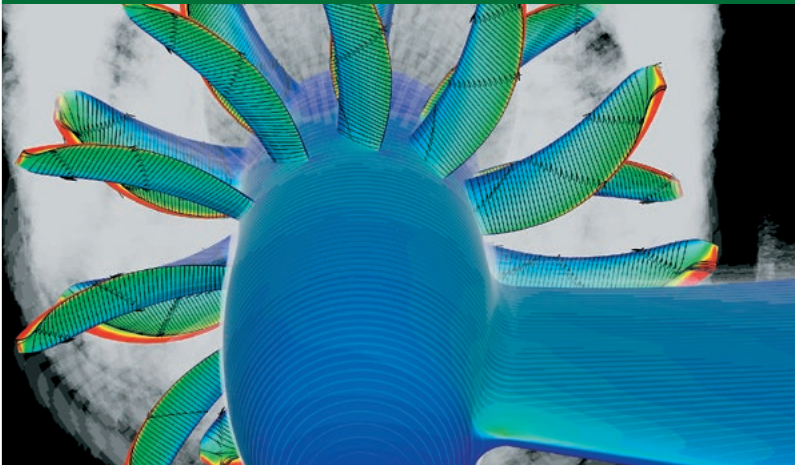
Was die Forscher weltweit antreibt, neben Windkanal- und Flugversuchen, diesen „dritten Weg“ für die Flugzeugentwicklung zu gehen, kann Abteilungsleiter Norbert Kroll in wenigen Worten zusammenfassen: „Es wird erwartet, dass die Passagierzahl in den nächsten 15 Jahren auf das Doppelte ansteigt. Zugleich sollen die Kosten, die Umweltbelastungen und Risiken drastisch gesenkt werden. So massive Herausforderungen erfordern einfach große Technologiesprünge.“ Er weiß: „Der Schritt zu einem effizienteren Flugzeug, zu einem ökonomisch und ökologisch verbesserten Lufttransport, kann nur über eine bessere, deutlich weiterentwickelte numerische Simulationstechnologie gelingen.“

Dies bedeute vor allem: Beschleunigung und Qualitätssteigerung. Numerische Simulationen, so erwartete man bei Projektbeginn im Jahr 2007 optimistisch, sollten in den folgenden 15 Jahren etwa 100.000 bis eine Million Mal schneller werden. „Das war eine große Motivation“, erzählt Stefan Görtz, wissenschaftlicher Mitarbeiter der Abteilung C²A²S²E. „Unsere Software eine Million Mal schneller laufen zu sehen – diese Vorstellung hat uns begeistert.“

Wandel in der Rechnerarchitektur

Doch die einzelnen Einheiten, die sogenannten Rechenkerne, folgten nicht dem bisherigen Trend, immer schneller zu werden. „Stattdessen wurden es schlichtweg immer mehr“, erläutert DLR-Forscher Stefan Görtz. Dieser Wandel in der Rechnerarchitektur sei nicht zuletzt den Stromkosten geschuldet gewesen: Statt immens leistungsstarke Rechenkerne immer mehr Energie verschlingen zu lassen, wurden effizientere Chips in den Hochleistungsrechner eingebaut – davon aber deutlich mehr. Für die C²A²S²E-Forscher war es so möglich, am Ende nicht mehr Kosten für Energie und Rechnernutzung zu verursachen, als der Flugzeugentwurf mit Simulationen letztlich spart. Damit blieben sie auf der Zielgeraden zur Entwicklung kostengünstigerer Methoden im Flugzeugentwurf.

„Die Software für unsere numerischen Simulationen musste nun allerdings erst mal für die neue Rechnerarchitektur angepasst



Anhand der numerischen Simulation eines propellerbetriebenen Transportflugzeugs kann die Wechselwirkung zwischen Propeller und Flugzeug erforscht werden. Die Farben zeigen das Ausmaß der Wirbelstärken im Strömungsfeld.

beziehungsweise weiterentwickelt werden“, beschreibt Görtz weitere Inhalte der wissenschaftlichen Arbeit in den vergangenen Jahren. Wenn der Numeriker heute eine seiner Rechnungen mit zum Teil 500 Millionen Unbekannten über Nacht am Computer durchlaufen lässt, dann nutzt er nicht mehr einige wenige Recheneinheiten, sondern gleich mehrere tausend Rechenkerne. Ein großer Fortschritt, der jedoch auch mit großen Kosten verbunden ist. Vor allem, da der Trend hin zur Simulation komplexer Manöver oder gar zu ganzen Simulationskampagnen geht. Hier setzen die Forscher mit einer weiteren Strategie an: Sie entwickeln sogenannte Ersatzmodelle. Um nicht mehr alle Rechnungen im kleinsten Detail durchführen zu müssen, werden hochgenaue Rechnungen nur an einigen Punkten im Parameterraum durchgeführt.

Mit den Ergebnissen dieser wenigen teuren Rechnungen wird dann ein mathematisches Modell gefüttert, das innerhalb von Sekunden ausgewertet werden kann. So schaffen sie Annäherungsmodelle, die zwar mit wenigen Rechnungen erstellt, danach aber für viele Millionen Simulationsszenarien genutzt werden können. Für Stefan Görtz und seine Kollegen in einer der größten Abteilungen des Instituts tagtäglich eine spannende Aufgabe. Denn mit der Simulation optimaler Flugbedingungen gibt sich hier niemand mehr zufrieden: „Wir tasten uns von den optimalen Zuständen im Reiseflug an die Grenzen des Flugbereichs heran“, so Görtz. Die aerodynamischen Phänomene in diesen Grenzbereichen zu simulieren, das gesamte „digitale Flugzeug“ im Rechner zu fliegen, das sei die große Herausforderung über das Ende des Projekts C²A²S²E hinaus. Daher sollen die Forschungsarbeiten im Anschluss an die vom Land Niedersachsen geförderte Projektphase in den kommenden Jahren auch auf jeden Fall fortgeführt werden: durch das HGF-finanzierte DLR-Projekt „Digital-X“.

So realitätsnah wie möglich

Ein digitales Flugzeug? – „Darüber denken wir mittlerweile schon hinaus: Das virtuelle Produkt ist unsere große Vision“, freut sich Stefan Görtz auf die Zukunft. Mit dem Projekt Digital-X soll der Weg dorthin geebnet werden. „Wir arbeiten jetzt mit mehreren Instituten zusammen, so können wir Flugzeuge unter Berücksichtigung der einzelnen Disziplinen optimieren.“ Es geht also nicht nur um die Aerodynamik, alle Fachbereiche sollen in dem neuen Projekt gemeinsam am virtuellen Flugzeug arbeiten.

„Flugversuche und Experimente im Windkanal können aber niemals ganz abgelöst werden“, betont Görtz. Die numerische Simulation sei als eines von drei Instrumenten in der



Die Ingenieure Ralf Heinrich (links) und Stefan Görtz besprechen die Ergebnisse einer Computersimulation, bei der das Verhalten eines Flugzeugs in einer Windböe simuliert wird

Flugzeugforschung und -entwicklung zu verstehen. Als eines, das Risiken minimieren, Kosten sparen und die Zuverlässigkeit erhöhen könne. Alles so genau wie möglich vorher zu wissen, sei für die Unternehmen sehr wichtig, denn mit jeder neuen Flugzeugentwicklung riskiere eine Firma aufgrund der enormen Entwicklungskosten ihre Existenz, erläutert Görtz. Im Projekt Digital-X wolle man hin zu mehr Realitätsnähe: Wurden anfangs nur vereinfachte Flugzeuge betrachtet, kommen jetzt immer mehr Details hinzu. Auch Abweichungen, die zu einer Veränderung der Form führen können, wie etwa Vereisungen, werden bei der Entwicklung berücksichtigt, um ein optimales Produkt zu finden. Stefan Görtz weiß: „Erst wenn sich ein Flugzeug am Rechner verhält wie in Wirklichkeit, kann das digitale Flugzeug das Versuchsflugzeug ebenbürtig ergänzen.“ ●

Autorin:

Yvonne Buchwald ist Mitarbeiterin im DLR-Institut für Aerodynamik und Strömungstechnik Braunschweig und kümmert sich dort um die Öffentlichkeitsarbeit.



Weitere Informationen:

DLR.de/as
s.DLR.de/ghu1

Das C²A²S²E-Cluster – ein Hochleistungsrechner besonderer Art

Im September 2013 wurde beim DLR Braunschweig das neue C²A²S²E-Cluster in Betrieb genommen. Die Grundfläche des Supercomputers misst drei mal vier Meter. Mit ihm können 262 TFlop/s, also 262.000.000.000.000 Rechenoperationen pro Sekunde durchgeführt werden. Das neue Cluster hat 1.120 Prozessoren mit 13.440 Rechenkernen. (Das entspricht in etwa 3.000 heimischen PCs. Auch in heimischen PCs stecken mittlerweile Mehrkern-Prozessoren.) Damit ist C²A²S²E der schnellste Rechner für die Luftfahrtforschung in Deutschland und Europa.

In Sichtweite zum Tarantel-Nebel

Die Flugzeugmotoren dröhnen. Es ist empfindlich kalt. Wir befinden uns in einer Höhe von rund 13.000 Metern über dem Meeresspiegel. Doch uns umgibt nicht die wohlige Atmosphäre eines Linienfluges mit Polstersitzen und aufmerksamen Flugbegleiterinnen, die Snacks und Getränke anbieten, sondern es herrschen die nüchterne Ästhetik und angespannte Betriebsamkeit eines Forschungslabors. Und es ist empfindlich kalt. Ein Großteil der Sitze ist entfernt worden, um Platz zu schaffen für Messinstrumente, Elektronik und die gewaltige Mechanik eines 2,5-Meter-Teleskops: Wir sind auf einem Wissenschaftsflug der fliegenden Sternwarte SOFIA. Es ist ihr erster Einsatz auf der Südhalbkugel.

Mit der fliegenden Sternwarte SOFIA am südlichen Firmament

Von Diana Gonzalez

SOFIA – was klingt wie ein Frauenname, ist die Abkürzung für „Stratosphären-Observatorium für Infrarot-Astronomie“. Die fliegende Sternwarte der US-amerikanischen Luft- und Raumfahrtbehörde NASA und des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt erkundet vom Flughafen Christchurch in Neuseeland aus den Himmel der Südhemisphäre. Vom Gelände des U.S. Antarctic Program am Flughafen soll die umgebaute Boeing 747SP mit dem rund 20 Tonnen schweren Teleskop insgesamt neunmal zu Beobachtungsflügen starten. Vom 14. Juli bis zum 2. August 2013 sind drei Serien mit jeweils drei Flugtagen in Folge geplant – ein bisher noch nicht da gewesenes Programm. Überhaupt muss das Observatorium erst einmal unter Beweis stellen, dass es fernab von seinem Heimatflughafen Palmdale in Kalifornien problemlos einsetzbar ist. Entsprechend groß ist die Anspannung beim rund sechzigköpfigen Team aus Wissenschaftlern, Ingenieuren und der Flugzeugcrew.

Wird alles nach Plan laufen? Kann SOFIA beim ersten wissenschaftlichen Auslandseinsatz – die Stippvisite in Köln und Stuttgart im Herbst 2011 hatte nur kurze Testbeobachtungen

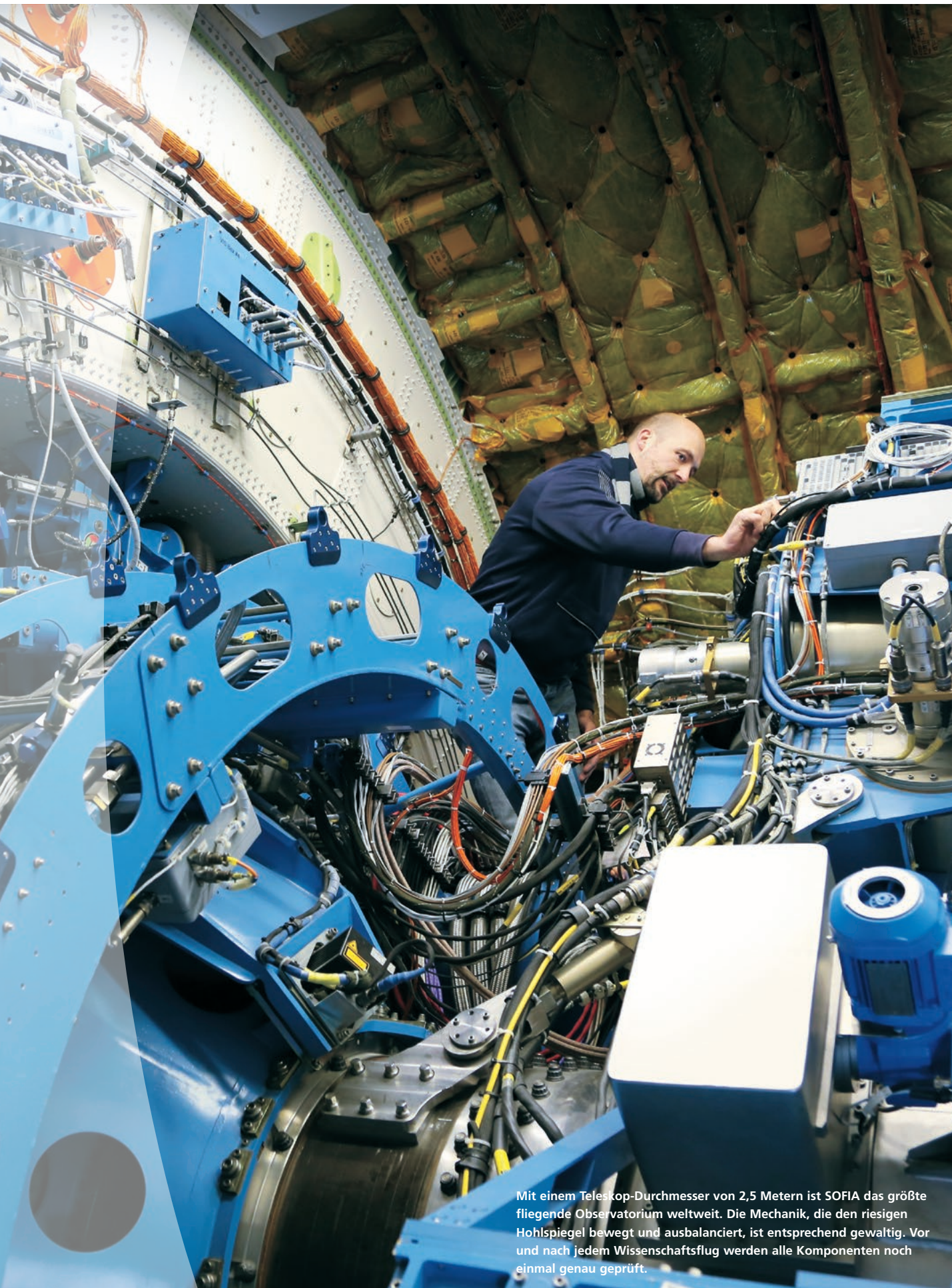
erlaubt – überzeugen? Mit an Bord ist das deutsche Instrument GREAT (German Receiver for Astronomy at Terahertz Frequencies), das unter der Leitung von Wissenschaftlern des Max-Planck-Instituts für Radioastronomie in Bonn und der Universität Köln entwickelt wurde. Das Spektrometer ist am Teleskop montiert und kann die Infrarot-Signale aus riesigen Staub- und Gaswolken im Weltall mit großer Genauigkeit analysieren. Die dabei gewonnenen Informationen über die chemische Zusammensetzung, Dichte, Temperatur und Strömungen in diesen „Molekülwolken“ ermöglichen einen detaillierten Einblick in den Entstehungsprozess von Sternen und Planeten, von der Geburt bis zur Endphase.

Der Vorteil der langen Nächte

„Warum findet die Mission eigentlich mitten im Winter auf der Südhalbkugel statt?“ Diese Frage hatte ich ein paar Tage zuvor Heinz-Theo Hammes vom DLR-Projektteam SOFIA gestellt, während ich mich tapfer durch eisigen Wind, Regen- und Hagelschauer über das Flugfeld kämpfte, um die Landung von SOFIA in Christchurch mit der Fotokamera zu dokumentieren. Daheim in Deutschland hatte gerade erst der Sommer mit Temperaturen um 30 Grad Celsius Einzug gehalten. „Der Grund liegt auf der Hand“, entgegnete Hammes. „Die Nächte sind lang und es können entsprechend lange Beobachtungsflüge gemacht werden. Außerdem ist die Luft im Winter über dem Ozean sehr trocken, daher sind die Untersuchungen im Infrarot-Bereich besonders ergiebig.“ Da die Infrarot-Strahlung vom Wasserdampf in der Atmosphäre absorbiert wird, kann sie vom Erdboden aus nur sehr schlecht gemessen werden. Das ist der Grund, weshalb SOFIA in Höhen von über zwölf Kilometern fliegt. „Im Winter der südlichen Hemisphäre können die Wissenschaftler vor allem aber astronomisch interessante Objekte erforschen, die im Norden nur schwer oder gar nicht zu beobachten sind,“ fügte er hinzu, „dazu gehören insbesondere das Zentrum unserer Milchstraße und ihre kleineren Nachbarn, die kleine und große Magellansche Wolke. In der großen Magellanschen Wolke ist der sogenannte Tarantel-Nebel, ein äußerst aktives Stern-Entstehungsgebiet, das Hauptuntersuchungsziel. Wir erhoffen uns da spannende neue Erkenntnisse.“



Mit Hilfe der Nachführkameras des Teleskops, der sogenannten Imager, wird das wissenschaftliche Ziel am Himmel angepeilt und im Fokus gehalten



Mit einem Teleskop-Durchmesser von 2,5 Metern ist SOFIA das größte fliegende Observatorium weltweit. Die Mechanik, die den riesigen Hohlspiegel bewegt und ausbalanciert, ist entsprechend gewaltig. Vor und nach jedem Wissenschaftsflug werden alle Komponenten noch einmal genau geprüft.



Eine umgebaute Boeing 747SP trägt das Infrarot-Observatorium in eine Höhe von rund 13.000 Metern. Im Jahr 2012 wurde das Cockpit des Flugzeugs modernisiert. An die Stelle der analogen Messgeräte traten moderne, digitale Instrumente.



Während des Fluges werden die Daten von Teleskop und Instrument GREAT auf die Monitore der Wissenschaftler übertragen. Durch eine schnelle Vorab-Analyse kann die Beobachtung kontrolliert und gegebenenfalls korrigiert werden, um die wertvolle Forschungszeit so effizient wie möglich zu nutzen.



Am frühen Morgen des 18. Juli 2013, nach einem gelungenen ersten Forschungsflug in Neuseeland, verlassen Wissenschaftler und Crew die fliegende Sternwarte. Aufgrund des äußerst geringen Wasserdampfgehalts in der Atmosphäre waren die Infrarot-Messungen besonders ertragreich.

DAS Projekt SOFIA

SOFIA, das „Stratosphären-Observatorium für Infrarot-Astronomie“, ist ein Gemeinschaftsprojekt des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt und der National Aeronautics and Space Administration (NASA). Es wird auf Veranlassung des DLR mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (BMWi) und des Landes Baden-Württemberg sowie der Universität Stuttgart durchgeführt. Der wissenschaftliche Betrieb wird auf deutscher Seite vom Deutschen SOFIA-Institut (DSI) der Universität Stuttgart koordiniert, auf amerikanischer Seite von der Universities Space Research Association (USRA).

Der deutsche Beitrag GREAT

GREAT, der German Receiver for Astronomy at Terahertz Frequencies, ist ein Empfänger für spektroskopische Ferninfrarot-Beobachtungen in einem Frequenzbereich von 1,25 bis 5 Terahertz (240-60 Mikrometer Wellenlänge), der von bodengebundenen Observatorien aus wegen der mangelnden atmosphärischen Transparenz nicht mehr zugänglich ist. Der Empfänger ist seit 2011 als Instrument der ersten Generation am Flugzeug-Observatorium SOFIA im Einsatz. GREAT wird in einem Konsortium deutscher Forschungsinstitute (Max-Planck-Institut für Radioastronomie, Bonn, und Radioteleskop KOSMA der Universität zu Köln, in Zusammenarbeit mit dem MPI für Sonnensystemforschung und dem DLR-Institut für Planetenforschung) entwickelt und betrieben. Projektleiter für GREAT ist Dr. Rolf Güsten (MPI für Radioastronomie). Die Entwicklung des Instruments ist finanziert mit Mitteln der beteiligten Institute, der Max-Planck-Gesellschaft, der Deutschen Forschungsgemeinschaft und des BMWi.

Ein leichtes Schwanken des Flugzeugs bringt mich wieder zurück ins Hier und Jetzt des Forschungsfluges. Vor mir steht eine Gruppe von Wissenschaftlern, die aufgeregt auf die Bildschirme vor ihnen deutet und sich dabei angeregt unterhält. Doch ich verstehe kein Wort. Das liegt diesmal nicht am üblichen Fachjargon der Forscher, sondern an dem enormen Lärmpegel innerhalb des Passagierraums. Zum Schutz vor den Motorengeräuschen und um sich untereinander zu verständigen, tragen alle Passagiere Kopfhörer, die einerseits die Hintergrundgeräusche dämpfen und andererseits eine Unterhaltung via Sprechanlage ermöglichen. Auch ich setze sie probenhalber auf. Es gibt verschiedene Kanäle, in die ich mich einwählen kann. So kann ich der Unterhaltung der Wissenschaftler, aber auch den Gesprächen der Bordcrew oder der Piloten folgen. Über die Computermonitore flimmern Punkte, Linien und Kurven. Es sind die visualisierten Daten, die das Spektrometer GREAT gerade aufzeichnet. Für mich als Laien ist daraus nichts abzulesen. Für die Wissenschaftler hingegen läuft auf diesen Bildschirmen eine Art Krimi ab. An einem kleinen Tisch sitzen vier Experten, die in Windeseile eine Vorab-Auswertung der Daten vornehmen. So können die Wissenschaftler abschätzen, ob es sich lohnt, an diesem Punkt weiter zu beobachten oder ob das Teleskop auf eine andere Stelle am Himmel ausgerichtet werden soll. Denn jede Minute Forschungszeit ist kostbar.

Während im Passagierraum große Anspannung herrscht, strahlen die Piloten im darüber gelegenen Cockpit Ruhe und Gelassenheit aus. Routiniert steuern sie das Flugzeug über die eisigen Gewässer, die zwischen Neuseeland und der Antarktis liegen. Der Horizont ist nur als blassblauer Lichtschein zu erahnen. Deutlich zu erkennen sind hingegen die hell leuchtenden Displays der digitalen Instrumentenanzeigen. Seit der Modernisierung der Cockpit-Technik im letzten Jahr ersetzen sie die alten analogen Geräte. Auf dieser Mission beweisen sie nun zum ersten Mal ihre Tauglichkeit in der Praxis.

Instrument der Superlative

Wieder im Passagierraum, beobachte ich die riesige Teleskopmechanik bei der Arbeit. Es ist ein beeindruckender Anblick, wie sie sich um ihre Achse zu drehen scheint. Doch in Wirklichkeit bleibt das Teleskop mit dem Instrument starr auf die gleiche Position am Himmel ausgerichtet: Wir sind es, die sich mit dem Flugzeug darum herumbewegen. Ich betrachte den Mechanismus, der aus hunderten von eigens für diesen Prototypen entworfenen und gefertigten Einzelteilen zusammengesetzt ist, und denke,

dass es erstaunlich ist, dass dieses Wunderwerk der Technik überhaupt existiert und tatsächlich einwandfrei funktioniert. Was für ein Wagnis, dieses gigantische und einmalige Projekt zu realisieren.

Plötzlich kommt hinter mir Bewegung auf. Ich setze die Kopfhörer wieder auf und erfahre den Grund: Polarlichter! Wer ein paar Augenblicke Zeit hat, wirft einen Blick durch die Fenster. Zunächst noch in fahl grünlichem Licht und dann zunehmend immer intensiver erstrahlt das nächtliche Firmament über dem Südpolarmeer. Schimmernd und pulsierend gleiten die Lichtbänder in immer neuen Mustern über den Himmel. Doch so schnell wie der Spuk begonnen hat, ist er auch schon wieder vorbei. Nach wenigen Minuten ist nur noch ein diffuses Leuchten zu erkennen, dann herrscht wieder schwarze Nacht.

Insgesamt zehn Stunden dauert ein Forschungsflug, noch weitere vier liegen vor uns. Bei aller angespannten Aufmerksamkeit kann ich langsam eine gewisse Müdigkeit nicht verleugnen. Einige Wissenschaftler, die ihre Schicht absolviert haben, sind von der „Holzklasse“ des Arbeitsbereichs ins „First-Class-Abteil“ gewechselt. Im vorderen Teil des Flugzeugs stehen tatsächlich noch ein paar Original-1.-Klasse-Flugzeugsessel aus den Siebzigerjahren. Sie muten an wie ein paar Fossilien zwischen all der hochmodernen Technik. Die Sitze haben ihre besten Zeiten sichtlich hinter sich und sind hinreichend durchgesessen, aber nach dem langen Stehen sind sie eine Wohltat. Was jetzt noch fehlt, ist ein Kaffee, um die Lebensgeister wieder zu wecken. Aber den muss man sich schon selber mitbringen. Eine Bordküche gibt es nicht. Das ist eben die harte Wirklichkeit eines Forschungsfluges.

Ich komme mit einem Wissenschaftler vom I. Physikalischen Institut der Universität Köln ins Gespräch. Das Institut hat unter anderem die Detektoren für das GREAT-Instrument entwickelt und hergestellt. Ich frage ihn, was ihn an seiner Arbeit am meisten fasziniert. Er muss nicht lange überlegen: „Wenn man so hochempfindliche Empfänger an der Grenze des technisch Machbaren baut, kommt alles aus den Bereichen der Hochfrequenz-, Kälte- und Vakuumtechnik zusammen. Dafür muss man sich zuerst mit den physikalischen Grundlagen befassen und diese dann als Technologie umsetzen. Vor allem die am Projekt beteiligten Studenten bekommen so eine sehr umfassende Ausbildung. Es ist sehr spannend, sehr abwechslungsreich und auch befriedigend, wenn die Technologie dann so gut funktioniert“, erklärt Dr. Patrick Pütz.

Beobachtungen in bester Qualität

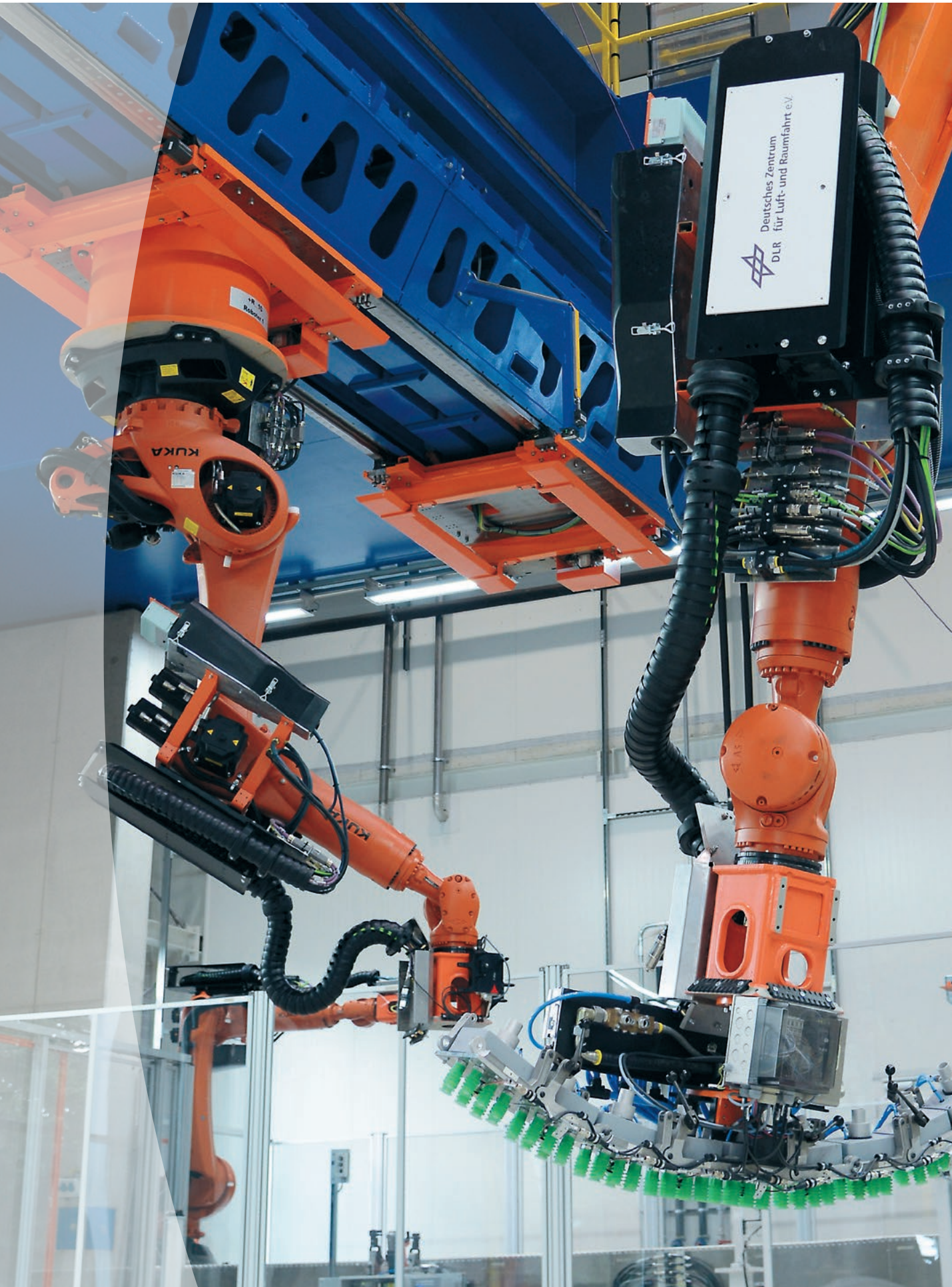
Gegen 4 Uhr morgens erreicht SOFIA wieder den Flughafen von Christchurch. Die Landung hätte auch mit einem Linienflieger nicht weicher sein können. Die Computer werden heruntergefahren, die Kopfhörer-Kabel eingerollt. Den Wissenschaftlern steht die Anstrengung der letzten Stunden ins Gesicht geschrieben. Doch es hat sich gelohnt! Die Beobachtungen waren von ausgezeichneter Qualität. Der Wasserdampfgehalt in der Luft war sogar so gering, dass er für das GREAT-Instrument gar nicht messbar war. Apropos GREAT: Ein kleines Jubiläum gab es auch – das Spektrometer hat auf diesem Flug seinen 25. Einsatz bravourös gemeistert.

Auch die weiteren Beobachtungsflüge verlaufen zur vollsten Zufriedenheit der Wissenschaftler. „Die fantastisch transparente Atmosphäre auf diesen Flügen hat es ermöglicht, die Leistungsfähigkeit des GREAT-Empfängers bis an ihre Grenzen auszuschöpfen“, sagt Dr. Rolf Güsten vom Max-Planck-Institut für Radioastronomie, der Leiter der deutschen Forschergruppe, die das GREAT-Instrument entwickelt hat. „Die Mission war überaus ergiebig. Während dieser neun Flüge haben wir einzigartige Daten zu mehr als 30 recht unterschiedlichen Forschungsprojekten einfahren können. Die Ergebnisse werden in den kommenden Monaten veröffentlicht.“

Nach rund drei Wochen in Neuseeland steht außerdem fest: SOFIA hat während der Mission gleich mehrere Meilensteine erreicht. „Das Ergebnis könnte besser nicht sein“, freut sich Heinz-Theo Hammes, „SOFIA hat während der Mission gleich vier „Firsts“ gemeistert: Es fanden zum ersten Mal drei direkt aufeinanderfolgende Beobachtungsflüge statt, es gab zum ersten Mal drei Flugserien innerhalb von drei Wochen, und erstmalig sind neun erfolgreiche Flüge hintereinander gelungen – damit hat das Observatorium seinen ersten Einsatz fernab des Heimathafens souverän absolviert. Wichtig war dabei auch die Unterstützung durch das U.S. Antarctic Program, dessen Einrichtungen und Serviceleistungen wir nutzen durften.“ – Nun ist der Weg frei für weitere Messkampagnen unter südlichem Himmel: Im Jahr 2015 ist der nächste Einsatz von SOFIA in Neuseeland geplant. ●



Weitere Informationen:
DLR.de/SOFIA



Der Portalroboter saugt mit seinem Streifengreifer die Kohlenstofffaserzuschnitte an, transportiert sie und legt sie hochgenau ab. Dabei kann er mit anderen Robotern in der Multifunktionalen Zelle kooperieren.

Hightech auf vier Pfeilern



Die Architektur des ZLP lehnt sich an einen Hangar an



Auch größte Bauteile lassen sich hier fertigen

Es begann mit vier aus Beton gegossenen Eckpfeilern. Lange bevor im Mai 2013 das DLR seine neue Forschungseinrichtung – das Zentrum für Leichtbauproduktionstechnologie (ZLP) – am Standort Augsburg eröffnete, ragten sie inmitten des sonst freien Baulandes hervor. Die rund sieben Meter hohen Pfeiler waren der erste Hinweis auf eine einzigartige Großanlage – die Multifunktionale Roboterzelle (MFZ). Erst als sie standen, wurde der ZLP-Gebäudekomplex mit der Versuchshalle und dem daran anschließenden Bürogebäude errichtet. Stück für Stück, um die Anlage herum. Jetzt steht sie in der langgestreckten Halle des ZLP Augsburg und zieht mit ihren fünf von oben agierenden Roboterarmen die Blicke auf sich.

Glanzstück im DLR Augsburg: multifunktionale Roboteranlage für die Fertigung von Leichtbaustrukturen für Flugzeuge

Von Florian Krebs und Bernadette Jung

Seit September 2013 ist das „Herzstück“ des ZLP Augsburg vollständig in Betrieb. Forschen im Industriemaßstab heißt das für die DLR-Wissenschaftler. Ihr Ziel ist es, Herstellung und Einsatz von Bauteilen aus Faserverbundkunststoffen in der Luft- und Raumfahrt wirtschaftlicher zu gestalten. Ihr Augenmerk gilt insbesondere den kohlenstofffaserverstärkten Kunststoffen (CFK). Der Grund dafür ist klar: Verkehrsflugzeuge aus CFK-Materialien sind leichter, sparsamer im Treibstoffverbrauch und fliegen dadurch schadstoffärmer. Im Zuge des wachsenden globalen Mobilitätsbedarfs ist es unausweichlich, die Emissionen von Verkehrsflugzeugen und deren Treibstoffverbrauch zu senken. Um CFK-Bauteile günstiger zu fertigen, muss der Herstellungsprozess automatisiert werden.

Die MFZ dient als prototypische Fertigungszelle. Sie soll zeigen, wie eine automatische Herstellung von Bauteilen die Kosten für die Fertigung senken und gleichzeitig die Qualität der hergestellten Bauteile erhöhen kann. Gemeinsam mit Partnern aus Industrie und Forschung entwickeln die ZLP-Wissenschaftler und -Ingenieure neue Prozesse und Methoden und validieren diese für den industriellen Einsatz – arbeiten an einem nahtlosen, effizienten Übergang. Die Flexibilität und Ausbaufähigkeit der Forschungsplattform stellt dabei sicher, dass die Forschung dem Stand der Technik auch in Zukunft voraus ist.

Wissenschaftler wie auch Industrie-Experten setzen dabei auf die Robotik. Schon bei der Konzeption und beim Aufbau der Multifunktionalen Roboterzelle waren dafür einige Herausforderungen zu meistern. Allein die Dimensionen der ausgewählten Bauteile sind enorm. Das klassische Anwendungsszenario für die Roboterzelle ist die Fertigung eines Rumpfbauteils der nächsten Generation von Single-Aisle-Verkehrsflugzeugen. Dazu gehört

etwa der Nachfolger des Airbus A320, dessen Rumpf einen Durchmesser von immerhin vier Metern hat. Für die Fertigung ist eine Anlage von beträchtlicher Größe nötig. So kommt es, dass die Anlage in Augsburg 30 Meter lang, 15 Meter breit und sieben Meter hoch ist. Damit jedoch Produktionsverfahren von unterschiedlichen Bauteilen für die Luft- und Raumfahrt entwickelt werden können, wurde bei der Konstruktion auf maximale

Oberstes Gebot: Industrietauglichkeit

Das ZLP Augsburg widmet sich im Unterschied zu anderen Forschungsinstituten der automatisierten Verarbeitung dieser Materialien entlang der kompletten Prozesskette. Im Vordergrund steht dabei die Herstellung von CFK-Bauteilen für die Luft- und Raumfahrt und die prozessintegrierte Qualitätssicherung. Die besondere Herausforderung für die Forscher: Die entwickelten Verfahren müssen nicht nur die hohen Anforderungen der Luft- und Raumfahrt erfüllen, sondern auch industrietauglich sein. Sie müssen also auch dem Kostendruck in einem industriellen Umfeld standhalten sowie die effiziente Produktion von besonders hohen oder auch nur sehr niedrigen Stückzahlen ermöglichen. Das bedeutet: weg von umständlichen Sonderfertigungen, hin zu einer automatisierten Standardprozedur. Die Multifunktionale Roboterzelle weist dazu gewissermaßen den Weg.



Mehr als nur Ablegen: In der Multifunktionalen Roboterzelle lassen sich unterschiedliche Prozesse in diversen Kombinationen erproben

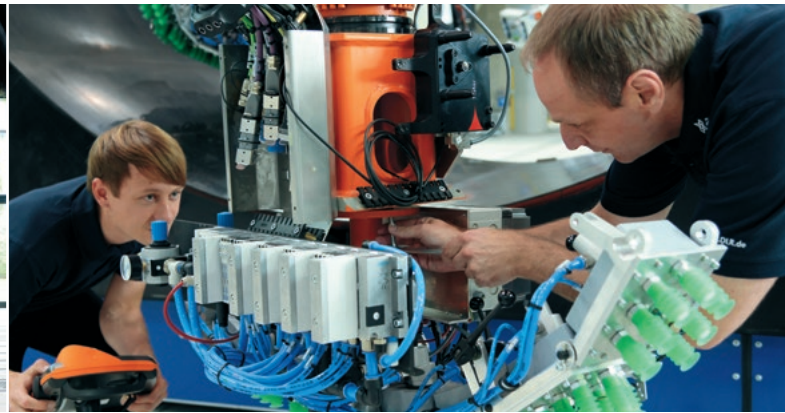
Flexibilität in puncto Bauteilgeometrie geachtet. Mit der Ceiling-, also der Raum-Decken-Konfiguration der Roboter kann die Bauteilgröße variiert werden. Schließlich ist, neben den bereits bestehenden Aufträgen, nicht abzusehen, welche Bauteile in den kommenden Jahren zu fertigen sein werden.

Unsichtbare Vorhänge

Um unterschiedlichste Einsatzszenarien durchspielen zu können, ist die Erprobungszelle von allen Seiten zugänglich. Das Maschinengerüst ruht in sieben Meter Höhe auf den vier Betonpfeilern, mit denen beim Neubau des ZLP Augsburg alles begann. Auf zusätzliche Stützkonstruktionen wurde verzichtet. Auch feste Trennwände oder ähnliche Schutzeinrichtungen, die den Arbeitsbereich abgrenzen, fehlen auf den ersten Blick. Doch per Laser ausgerichtete, flexibel einstellbare Lichtvorhänge sorgen für einen gesicherten Raum. So kann die Anlage ohne Hindernis mit Material und Hilfsstoffen versorgt werden.

Die Erprobungszelle verfügt über insgesamt fünf Roboter, die wie gewaltige Arme vom oberen Maschinengerüst hängen. An ihren Enden können sie mit diversen sogenannten Endeffektoren ausgestattet werden, beispielsweise Werkzeuge zum Greifen oder Ablegen eines CFK-Bauteils. Am Boden montierte Roboter, wie sie sonst in der Fertigung üblich sind, sucht der Branchenkenner hingegen vergebens. Denn stehende Roboter sind in ihrem Arbeitsraum deutlich eingeschränkt. Deshalb schlugen die DLR-Ingenieure mit der Hang-Down-Konfiguration der Roboter einen neuen Weg ein. Aufgebaut wurde die Multifunktionale Roboterzelle am ZLP Augsburg vom DLR-Institut für Bauweisen- und Konstruktionsforschung in Zusammenarbeit mit der KUKA Systems GmbH. Zusätzlich bringt ein Team aus Mitarbeitern des DLR Robotik und Mechatronik Zentrums sowie des DLR-Instituts für Systemdynamik und Regelungstechnik aus Oberpfaffenhofen deren Robotik-Know-how in die Anlagenentwicklung ein.

In der weltweit einzigartigen ForschungsgröÙanlage sind nun zwei Arten von Robotern im Einsatz. Zum einen sind da zwei zentrale Industrieroboter, die auf Schlitten montiert sind und auf einer gemeinsamen Längsachse entlang der MFZ bewegt werden können. Diese Knickarmroboter haben sechs Freiheitsgrade und können bis zu 270 Kilogramm tragen. Für noch größere Lasten können die beiden Roboter auch kooperierend betrieben werden. Damit lassen sich auch extrem große CFK-Bauteile sowie Zuschnitte bewegen.



Zelle im Wandel: Durch die Trennung von Manipulator und Werkzeug lässt sich die Fertigung leicht an neue Anforderungen anpassen

Zum anderen werden die beiden Industrieroboter durch insgesamt drei „Portalroboter“ flankiert. Sie haben einen steifen Arm ohne Knickgelenk. Jedes dieser Portale hat eine Nennlast von 240 Kilogramm und kann in drei Raumrichtungen gefahren werden – nach vorne und hinten, nach links und rechts sowie nach oben und unten. Durch die Ergänzung einer Roboterhand erreichen die Portale annähernd die gleiche Bewegungsfreiheit wie die zentralen Knickarmroboter. Mit dieser Konfiguration können alle Roboter tief in den gewölbten Formwerkzeugen – wie sie in der Luftfahrt typisch sind – arbeiten, für konventionelle bodengebundene Anlagen im Normalfall ein Ding der Unmöglichkeit. Ein klarer Vorteil für die innovative Fertigungszelle.

Die neue Konstruktionsweise – bodenfreie Montage und Verzicht auf zusätzliche Stützkonstruktionen – stellt den Betrieb der MFZ jedoch auch vor eine neue Herausforderung: Die Genauigkeit der Bewegung. Denn die Anforderungen der Luft- und Raumfahrt an die Verarbeitungsgenauigkeit der CFK-Bauteile sind sehr hoch. Je nach auszuführendem Prozess ist sie unterschiedlich, bewegt sich aber im Sub-Millimeterbereich. Durch die Bewegung der Roboter in der Anlage verschieben sich am Maschinengerüst große Massen. Dies kann dazu führen, dass sich dieses verformt. Die Folge: Die angesteuerte Bahn des Roboterwerkzeugs wird nicht exakt eingehalten. Um diesem Effekt entgegenzuwirken, entwickelt das ZLP Augsburg zusammen mit den beiden Institutspartnern aus Oberpfaffenhofen spezielle Kompensationsverfahren. Durch eine Kombination aus externer Sensorik und zusätzlichen mechanischen Modellen werden so die benötigten Fertigungstoleranzen sichergestellt.

Vier auf einen Streich

Kaum waren die Anforderungen an die Größe der Anlage erfüllt, sorgte die Flexibilität für Kopfzerbrechen. Im Produktionsbetrieb kann es zu Schwankungen in der Anzahl und Art der zu liefernden Teile kommen. Für die Produktionsforscher am ZLP Augsburg bedeutet das, dass sich die Roboterzelle mit möglichst wenig Aufwand anpassen lassen muss. Auch Änderungen an bestehenden Produkten stellen die Anlage auf eine Bewährungsprobe. Denn die Roboterzelle muss dann mit vertretbarem Aufwand umgerüstet werden. Außerdem ist nicht für alle Versuche zur Verarbeitung von komplexen CFK-Strukturen die vollständige Zellenfläche von knapp 450 Quadratmetern erforderlich. Und es werden auch nicht immer alle Roboter gleichzeitig benötigt. Die Lösung liegt in einer flexiblen Aufteilung der verfügbaren Zellenfläche in bis zu vier autarke Zellen, die mit Hilfe der Licht-



Höchste Präzision ist bei der Verarbeitung von CFK der Schlüsselfaktor

vorhänge „umzäunt“ werden. So lassen sich unterschiedlichste Zellszenarien parallel betreiben. Um ein unabhängiges Arbeiten der einzelnen Zellen zu ermöglichen, können diesen auf Nutzerwunsch Roboter zugewiesen werden.

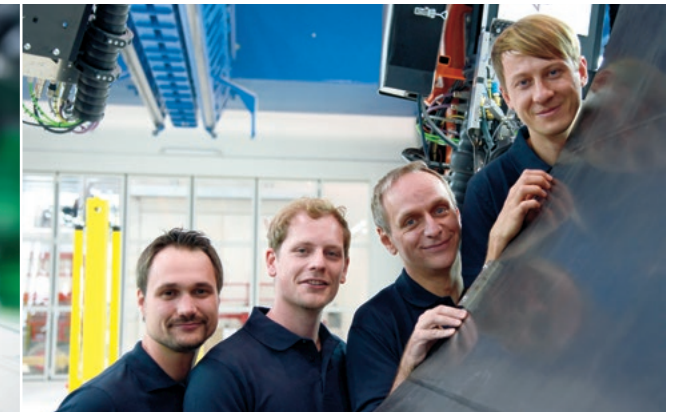
Das ZLP Augsburg hat sich mit der MFZ außerdem die Aufgabe gestellt, neben den mechanischen und elektrotechnischen Aspekten auch Steuerungs- und Sicherheitsaspekte zu berücksichtigen. Zum Ansteuern von Endeffektoren und Vorrichtungen wird dabei auf modernste Steuerungs- und Kommunikationstechnologie gesetzt. Sie ermöglicht einen Datenaustausch nahezu in Echtzeit. Durch diese Technologie lassen sich softwarebasiert unterschiedliche Konfigurationen programmieren – einmal erstellt, kann dieselbe Konfiguration später immer wieder hergestellt werden. Der Aufwand für eine wiederholte Inbetriebnahme verringert sich und in der Fertigung wird bis zu eine Woche Arbeit gespart. Auch die Diagnose von eventuellen Fehlern wird durch den Einsatz modernster Kommunikationstechnologien deutlich einfacher.

Permanente Kontrolle

Im Produktionsprozess kommt es darauf an, die Automatisierung und die Materialanforderungen gut aufeinander abzustimmen. Wenn trockene CFK-Matten verwendet werden, lassen sich Logistikkette und Verarbeitung einfacher gestalten. Mittels kooperierender Roboter werden einzelne Halbzeuge, also die Zuschnitte, in die Bauteilform eingebracht und fixiert. Das muss möglichst rasch erfolgen und den hohen Qualitätsansprüchen in der Luftfahrt genügen. Der Herstellungsprozess für die Ablage von CFK-Zuschnitten für andere Flugzeug-Großbauteile, zum Beispiel Flügel, lässt sich dann mit der gleichen Systematik darstellen.

Im Rahmen der Prozessentwicklung werden zugleich auch Verfahren entwickelt, mit denen die Qualität während des Produktionsprozesses gesichert wird. Dies hilft, mögliche Abweichungen bei der Fertigung frühzeitig zu erkennen und zu diesem Zeitpunkt noch kostengünstige Korrekturmaßnahmen zu ergreifen. Zu den größten Anwendungen der Roboterzelle gehört ein derzeit laufendes Projekt zur Fertigung eines Boosterdemonstrators für eine zukünftige Generation von Launchern in der Raumfahrt. Dabei sollen zwei Verfahren kombiniert werden, das des trockenen Wickelns (Dry Fibre Winding) des Druckbehälters und die Bändchenablage (Dry Fibre Placement) für die Herstellung der Schürzen des Boostergehäuses.

Um mit der Augsburger Hightech-Anlage auch in Zukunft Forschung am Puls der Zeit betreiben zu können, wurden einige Erweiterungsszenarien entwickelt. Derzeit arbeiten die Wissenschaftler daran, die Anlage noch genauer zu machen. Dazu erproben sie entsprechende Maßnahmen an einzelnen Robotern, um sie dann sukzessive auf die Gesamtanlage zu erweitern und gleichzeitig deren Leistungsfähigkeit zu steigern. Ferner ist ge-



Automation bedeutet Teamarbeit: Florian Krebs, Stefan Hartweg, Georg Braun, Lars Larsen (von links nach rechts)

plant, die Anlage künftig durch einen vierten Portalroboter zu ergänzen. Dabei soll auch die Steuerung der Portale ausgebaut werden – für eine Kooperation zwischen den Portalen untereinander sowie mit den Industrierobotern.

Das letzte und interessanteste Szenario betrifft die Zusammenarbeit von Mensch und Maschine. Bei der Produktion von Leichtbaustrukturen gilt es, viele Einzelschritte durchzuführen. Einige davon erfordern hohe Präzision und Wiederholgenauigkeit. Andere wiederum benötigen Improvisationsvermögen und Anpassungsfähigkeit. Durch die Kombination von Mensch und Maschine, die gemeinsam an einem Bauteil arbeiten, sollen die jeweiligen Stärken kombiniert und die Gesamteffizienz gesteigert werden.

Der erste Blick auf vier Beton-Stelen hat es nicht verraten, die Multifunktionale Roboterzelle im DLR Augsburg ist ein Stück Hochtechnologie. Und die Zukunft der Leichtbauproduktionstechnologie ruht auf weit mehr als jenen vier Pfeilern aus Beton. ●

Autoren:

Florian Krebs betreut als Gruppenleiter am ZLP in Augsburg die Gruppe für Mechatronik und Robotik. Bernadette Jung ist Redakteurin in der DLR-Kommunikation für die Standorte Augsburg, Oberpfaffenhofen und Weilheim.

Am Beitrag haben zudem mitgewirkt: Georg Braun, Lars Larsen und Stefan Hartweg.



Weitere Informationen:
DLR.de/ZLP

Das Zentrum für Leichtbauproduktionstechnologie (ZLP) ist eine nationale Forschungseinrichtung des DLR. Sie setzt sich zusammen aus dem Standort in Augsburg und einem weiteren Standort im niedersächsischen Stade. Im ZLP arbeiten drei DLR-Einrichtungen zusammen: das Institut für Bauweisen- und Konstruktionsforschung, Stuttgart, das Institut für Faserverbundleichtbau und Adaptionik, Braunschweig, und das Robotik und Mechatronik Zentrum, Oberpfaffenhofen.

Ansprechpartner:
Prof. Dr.-Ing. Heinz Voggenreiter
Prof. Dr.-Ing. Michael Kupke



Das neue Gesicht des DLR Göttingen

Ein Stück Weltraum auf Erden, ein Zug und ein Katapult für Zugmodelle – das sind einige der neuen Anlagen, die in den vergangenen Jahren im DLR Göttingen errichtet worden sind. Zudem hat sich das Areal deutlich vergrößert – und dabei ist das DLR an seine historischen Wurzeln zurückgekehrt. Denn das DLR konnte den Großteil des Geländes des angrenzenden Max-Planck-Instituts (MPI) für Dynamik und Selbstorganisation erwerben. Das war die Gelegenheit, sich trotz beengter Innenstadtlage bedeutend zu vergrößern. Für Kauf und bauliche Sanierung stehen 2,95 Millionen Euro zu Buche.

Auf historisch bedeutsamem Boden gedeihen Zukunftsprojekte für Luftfahrt, Raumfahrt und Verkehr

Von Jens Wucherpfennig



Hightech und Historie: Während in der neuen Vakuumkammer (Bild links) an Ionentriebwerken der Zukunft geforscht wird, trifft man in der Halle des ersten Windkanals Göttinger Bauart auf Spuren der Geschichte

Seit der Übernahme des 11.000 Quadratmeter großen Geländes der Max-Planck-Gesellschaft im Herbst 2012 verfügt das DLR Göttingen über eine Gesamtfläche von fast 56.000 Quadratmetern. Durch den Kauf kehrte das DLR quasi an seinen historischen Ursprungsort zurück. Unter anderem wurde jenes Gebäude übernommen, in dem sich die Reste des ersten Windkanals Göttinger Bauart befinden. Dieser 1918 von Ludwig Prandtl errichtete Windkanal ist zum Vorbild für einen Großteil der Windkanäle in aller Welt geworden. In ihm sind viele Untersuchungen zu Grundlagen der Aerodynamik durchgeführt worden.

Die neuen „alten“ Gebäude grenzen direkt an das DLR-Gelände an. Bis dato wurden bestimmte Einrichtungen, wie die Kantine, gemeinsam mit den Max-Planck-Kollegen genutzt. Das Areal an der Göttinger Bunsenstraße war nach dem Ende des Ersten Weltkriegs in Betrieb genommen worden. Dieses liegt einige Kilometer von den ersten Bauten der Modellversuchsanstalt am heutigen Schützenplatz entfernt. Dort wurde bereits Anfang des 20. Jahrhunderts das erste Gebäude errichtet – der 9. November 1907 gilt als Geburtsstunde der ersten Forschungseinrichtung für Aerodynamik, und Göttingen somit als Wiege der Strömungsforschung. Erst der Umzug auf das heutige Gelände an der Bunsenstraße nach dem Ersten Weltkrieg brachte eine deutliche Vergrößerung und damit dann auch neue Anlagen mit sich.

Eng zusammengedrückt

Die aktuelle Vergrößerung des Geländes vom DLR Göttingen war dringend notwendig geworden. In den vergangenen fünf Jahren ist die Mitarbeiterzahl um mehr als 23 Prozent von 373 auf 460 gestiegen. Da mehrere Großforschungsanlagen neu gebaut worden sind oder sich im Bau befinden, ist der Platz für die DLR-Mitarbeiterinnen und -Mitarbeiter eng geworden. Teilweise mussten sie in Büro-Containern untergebracht werden.

Zu den in den vergangenen Jahren hinzugekommenen Großforschungsanlagen zählt die weltweit einzigartige Tunnel-



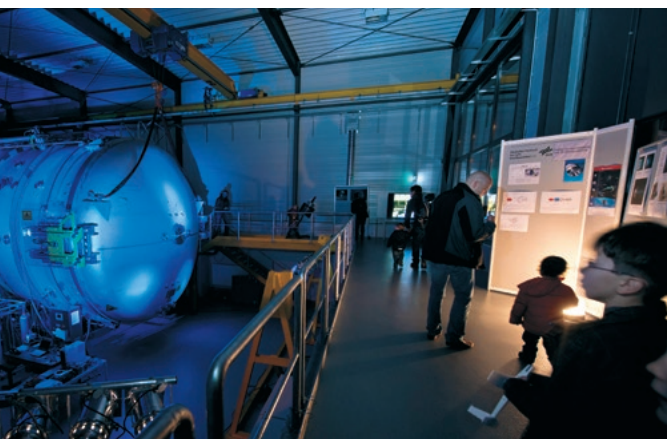
An historischen Wurzeln und mitten im Grünen: Das DLR Göttingen hat eine einmalige Lage

simulationsanlage, in der Zugmodelle bis auf Tempo 400 beschleunigt werden, und eine Vakuumkammer für elektrische Raumschifftriebwerke, in der ein Stück Weltraum erzeugt wird. Bisher gab es keine einzige Einrichtung, in der untersucht werden kann, was mit Zügen passiert, wenn sie mit hohem Tempo in einen Tunnel fahren – in der 2010 errichteten Tunnelsimulationsanlage ist das möglich. Und in der Vakuumkammer untersuchen die Forscher bei Temperaturen von bis zu minus 268 Grad Celsius elektrische Raumfahrtantriebe. Mit der kurz STG-ET (Simulationsanlage für Treibstrahlen Göttingen – Elektrische Triebwerke) genannten Anlage wird Göttingen zu einem europaweit bedeutenden Ort der Satellitenantriebsforschung.

Demnächst wird eine Halle für einen Regionalzug hinzukommen, zudem ein Rotor- sowie ein Turbinenprüfstand, der zu den leistungstärksten Testeinrichtungen für Flugzeugturbinen zählen wird. Der Prüfstand soll in der Lage sein, die Turbinen moderner Flugzeuge in Originalgröße bei der richtigen Machzahl und den richtigen Lufteigenschaften zu untersuchen – vom kleinen Geschäftsflieger bis zum A380-Großraumflugzeug. Das bedeutet, dass der Zustand beim späteren Einsatz im Triebwerk realistisch simuliert werden kann.

Bei dem Schienenfahrzeug handelt es sich um einen Triebwagen eines Talent-2-Regionalzugs des Zugherstellers Bombardier. Ein Triebwagen ist ein Schienenfahrzeug, das über einen eigenen Antrieb verfügt, im Gegensatz zu einer Lokomotive aber auch Passagiere befördert. Bombardier setzt die Talent-2-Züge seit Ende 2011 ein. Der im Jahr 2012 nach Göttingen gebrachte Zug mit Platz für 50 Passagiere ist nie im Bahnbetrieb gewesen. Stattdessen steht ihm nun eine Forschungskarriere im DLR bevor.

War Attraktion bei der Göttinger Nacht des Wissens: die neue Vakuumkammer für Ionentriebwerke



Lärmforschung am DLR-Forschungsflugzeug ATRA mit Göttinger Messtechnik

Der 20 Meter lange und 34 Tonnen schwere Zug wurde auf den Autobahnen 2 und 7 per Tieflader von Berlin nach Göttingen transportiert. Summa summarum befinden sich damit künftig im DLR Göttingen mehr als 20 Windkanäle und Großforschungsanlagen – eine in Europa einmalige Konzentration.

Vergangenheit und Zukunft

Auch das Zentrale Archiv des DLR soll in Göttingen einen angemessenen Platz erhalten. Das Archiv dokumentiert das historische Wissen des DLR und bewahrt es für die Zukunft. Seine Hauptaufgabe: Unterlagen des DLR und seiner Vorgängergesellschaften sichern, bewerten, erschließen und der Wissenschaft sowie der interessierten Öffentlichkeit zugänglich machen. Die Unterlagen des Zentralen Archivs reichen zurück bis ins späte 19. Jahrhundert. Der Dokumentationsschwerpunkt liegt auf der Zeit nach 1969, als durch die schrittweise Zusammenführung der Deutschen Versuchsanstalt für Luftfahrt (DVL), der Aerodynamischen Versuchsanstalt (AVA) und der Deutschen Versuchsanstalt für Luftfahrt (DFL) schließlich das moderne DLR entstand.

Und wenn die nächste Generation von DLR-Wissenschaftlern dereinst das Archiv nach historischen Meilensteinen durchforstet, wird sie auf die bewegten Jahre zwischen 2010 und 2015 stoßen, in denen das DLR Göttingen seine Fläche erweiterte und einzigartige neue Forschungsanlagen für Zukunftsprojekte in Betrieb nahm. ●



Weitere Informationen:
DLR.de/Goettingen

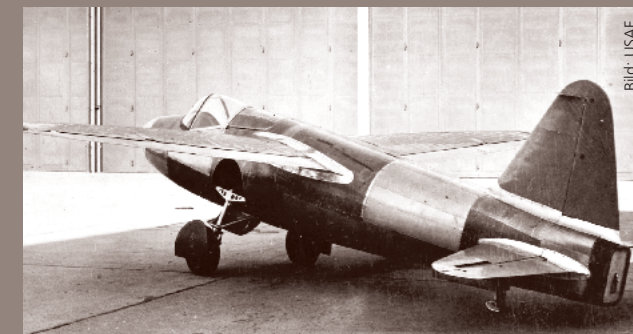
Dient der Komfortforschung: Triebwagen eines Regionalzugs



Gelesen, gehört, geirrt ...

Göttinger Erfindungen, die das Fliegen revolutionierten

In Göttingen, oft auch als die Wiege der Aerodynamik bezeichnet, wurden grundlegende Erkenntnisse über das Fliegen gewonnen. Zwei Beispiele sind der Pfeilflügel und das Düsentriebwerk. Ohne gepfeilte Flügel könnten Flugzeuge nicht sicher Geschwindigkeiten nahe Schallgeschwindigkeit erreichen. Es war ein Student Ludwig Prandtl, Adolf Busemann, der den Pfeilflügel als Lösung erfind und im Göttinger Windkanal die Richtigkeit nachweisen ließ. Der Göttinger Physik-Student Hans Pabst von Ohain konstruierte gemeinsam mit dem Automechaniker Max Hahn ein Demonstrationsmodell eines Düsentriebwerks. 1.000 Reichsmark investierte Ohain – seine Oma half dabei aus. Im Hof des Physikalischen Instituts fanden 1935 die ersten Testläufe statt. Alles Brennbares war zuvor außer Reichweite geschafft worden. Zu Recht: Lange gelbe Flammen schossen aus dem Versuchsmodell, bedrohlich nahe an der Gebäudewand. Die Verbrennung erfolgte nicht in der dafür vorgesehenen Brennkammer. „Es sah eigentlich mehr aus wie ein ganz neuartiger Flammenwerfer“, beschrieb es Ohain später. Sein Mechaniker Hahn nahm den Fehlschlag mit Humor: „Das kann Ihnen aber keiner nehmen, die Flammen kamen an der richtigen Seite raus.“ Danach heuerte Ohain beim Flugzeugbauer Heinkel an und innerhalb von drei Jahren konstruierten sie das erste Düsenflugzeug der Welt, die Heinkel 178.



Das erste Düsenflugzeug der Welt: die Heinkel 178



Das erste Flugzeug mit gepfeilten Flügeln: die Junkers 287 im Göttinger Windkanal

Stromlinien-Ei mit Propeller-Antrieb

In den Dreißiger- und Vierzigerjahren gab es für die Göttinger manchmal skurrile Gefährte auf den Straßen oder in der Luft zu sehen. Das, was 1943 die Passanten aufblicken und aufhören ließ, sah aus wie ein Flügel auf Rädern: Der Schlör-Wagen, später auch Göttinger Ei genannt, fuhr durch die Göttinger Innenstadt zur Autobahn. Die AVA-Wissenschaftler hatten zuvor auf ein handelsübliches Mercedes-Fahrgestell eine aerodynamisch besonders günstige Karosserie gebaut – das Ergebnis war ein fantastischer CW-Wert (Strömungswiderstandskoeffizient) von 0,186. Nachdem das Fahrzeug bereits 1939 vorgestellt worden war, packten die Göttinger Forscher 1943 im wahrsten Sinne des Wortes noch einen drauf: Sie installierten am Heck einen 130 PS starken Propeller aus russischer Beute. Diese abenteuerliche Konstruktion donnerte an den staunenden Göttingern vorbei.



Das falsche „Hummel-Paradoxon“

In populärer Literatur hat sich die Legende verbreitet, dass eine Hummel nach den Gesetzen der Aerodynamik gar nicht fliegen dürfte. Die Geschichte entstand als Scherz unter Studenten des Göttinger „Vaters der Aerodynamik“ Ludwig Prandtl in den Dreißigerjahren. Demnach soll in einer Gaststätte ein Biologe einen Aerodynamiker gefragt haben, warum eine Hummel fliegen könne. Der Aerodynamiker kam nach einer Berechnung des Verhältnisses von Flügelgröße zu Gewicht zu dem Schluss, dass es der Hummel unmöglich sei, zu fliegen. Dazugedichtet wurde dann die Pointe: Da die Hummel die Gesetze der Aerodynamik nicht kennt, fliegt sie doch. In Wirklichkeit existiert kein Paradoxon. Bereits den Aerodynamikern der Dreißigerjahre war bekannt, dass kleine Objekte wie Insekten ein anderes Strömungsfeld umgibt als Flugzeuge. Bei der Hummel spielen Wirbel, die durch den Flügel-schlag entstehen, eine große Rolle. Dies konnte 1996 an der Universität Cambridge auch im Experiment nachgewiesen werden.



Bild: Carl von Blixen

Datentransfer via Lichtstrahl

Wenn es um die schnelle Übermittlung großer Datenmengen geht, ist Laserkommunikation das Maß der Dinge. Die ViaLight Communications GmbH ist auf dem Gebiet der miniaturisierten Laserkommunikationssysteme weltweit der führende Anbieter für den kommerziellen Markt. Die Firma wurde von Mitarbeitern des DLR-Instituts für Kommunikation und Navigation, Dr. Markus Knappek, Dipl.-Ing. Joachim Horwath und Dr. Dirk Gigenbach gegründet. Sie ist ein Beispiel erfolgreichen Transfers von Forschungsergebnissen in Hightech-Produkte.

DLR-Ausgründung ViaLight sorgt für leistungsstarke Kommunikation

Von Miriam Kamin

Bereits 2005 wurde im DLR ein Laserterminal auf einem Stratosphärenballon erfolgreich getestet. Mit steigendem Reifegrad der Technologie entschlossen sich die drei DLR-Wissenschaftler 2009, aus dieser Technologie Produkte zu entwickeln und Laserkommunikationssysteme für fliegende Plattformen auf den Markt zu bringen. Bei ihrer Ausgründung wurden sie durch die Programme Helmholtz Enterprise Fonds (HEF) und Helmholtz Enterprise plus (HE plus) sowie durch das ESA Business Incubation Center (ESA BIC) unterstützt. Nach mehr als zehn Jahren wissenschaftlicher Tätigkeit am DLR im Bereich Laserkommunikation haben die Unternehmer ViaLight schließlich aus dem Institut für Kommunikation und Navigation ausgegründet. Ihr Ziel: hochratige Laserkommunikationssysteme für aeronautische Anwendungen entwickeln und fertigen. Damit lassen sich sehr große Datenmengen live von Flugplattformen übertragen. Die Kommunikation sowohl zwischen Flugzeugen und Bodenstation als auch zwischen Flugzeugen untereinander verbessert sich. Der Datentransfer wird mit Hilfe dieser leistungsstarken Technik erheblich schneller und sicherer. Im Falle einer Naturkatastrophe, beispielsweise einem Erdbeben, können so hoch aufgelöste Bilder oder

Videosequenzen rasch übertragen und von Rettungskräften genutzt werden. Auch beim Überwachen von Großveranstaltungen oder Industrieanlagen, bei Luftaufnahmen für Filmproduktionen, bei der Suche nach Bodenschätzen oder der Vernetzung von hochfliegenden Plattformen leisten die Laserterminals wertvolle Dienste.

Bei dem Unterfangen, die Technologie für den Markt zu entwickeln, erhielt ViaLight Unterstützung durch das Technologiemarketing des DLR. Als Ansprechpartner für innovationsfreudige Unternehmen bildet es die Schnittstelle zwischen Forschung und Industrie. Die Bandbreite der Projekte reicht vom Waldbrandfrüherkennungssystem über Keramikbremscheiben bis zu einem Anti-Kollisionssystem für Züge.

ViaLight pflegt bis heute auch eine enge Zusammenarbeit mit der DLR-Gruppe „Optische Freiraumkommunikation“. Gemeinsam arbeiten die Wissenschaftler zum Beispiel an einem lasergestützten Kommunikationssystem, das eine Datenübertragungsrate von mehr als 100 Gigabyte pro Sekunde ermöglicht. Die DLR-Ausgründung indessen konnte sich als Bewerber um den Preis des „Münchener Business Plan Wettbewerbs“ gegen 225 Gründerteams behaupten und gewann den mit 5.000 Euro dotierten dritten Platz. Um die komplexen Technologieprojekte durchführen zu können, verfügt das Unternehmen inzwischen über ein ausgedehntes Netzwerk von Unterauftragnehmern, Beratern sowie Fertigungsbetrieben. ViaLight finanziert sich derzeit über eine Reihe von Kundenprojekten aus der Industrie und aus dem Raumfahrtmanagement. Der Preis an die DLR-Ausgründung zeigt die wirtschaftliche Relevanz der Technologie für hochratige, schnelle und abhörsichere Datenübertragung. Das Unternehmen wird also auch weiterhin dafür sorgen, dass die Art zu kommunizieren sicherer, umfangreicher und vor allem sehr viel schneller sein wird. ●



Dr. Markus Knappek, Joachim Horwath und der externe Berater der Firma, Dr. Wolfram Peschko (v. l.), nach der Preisverleihung beim Münchener Businessplan Wettbewerb

Die Laserterminals, wie hier das MLT-20, werden im Reinraum integriert und getestet, sodass keine Staubpartikel die Optiken verschmutzen und dann zu unerwünschten Streueffekten führen können



Weitere Informationen:
vialight.de/

Den Globus im Blick und die Landschaft vor Augen

Satelliten im All umkreisen die Erde im grenzenlosen Raum und liefern wichtige Daten über Klimaveränderungen, Wasserstände, Landnutzung, Stadtstrukturen oder auch Biomasse. Die Mitarbeiter des Deutschen Fernerkundungsdatenzentrums (DFD) des DLR müssen ebenfalls grenzüberschreitend tätig sein: Erdbeobachtung aus der Ferne bedeutet oftmals auch den Einsatz direkt vor Ort. Am Mekong in Vietnam, neben Pinguinkolonien in der Antarktis, rund um das Mittelmeer oder auch im Tsunami-Gebiet von Indonesien. Dr. Claudia Künzer erkundet das chinesische Yellow-River-Delta, Hennes Henniger justiert in den kanadischen Northwest-Territorien in Inuvik eine Satellitenantenne und Dr. Ursula Geßner stellt sich mit ihrem GPS-Gerät unter Ghanas mächtige Baobab-Bäume oder ist in Burkina Fasos weiten Savannen unterwegs. Drei Einblicke in die weltweite Arbeit der DFD-Mitarbeiter.

Fernerkundung ganz nah: DLR-Forscherinnen und -forscher reisen in die Gebiete ihrer Satellitenaufnahmen

Von Manuela Braun

Am Gelben Fluss: Spagat zwischen Wirtschaft und Umwelt

Von Dongying kann man vieles sagen – nur nicht, dass es eine beschauliche, idyllische Stadt ist. In der Innenstadt ist alles glitzernd, voll mit Hochhäusern und Shopping-Malls, aber schon in den Außenbezirken leben die Menschen noch in einfachen einstöckigen kleinen Backsteinhäusern, ohne Auto, ohne Luxus. „Eine reiche Ölstadt“, sagt Dr. Claudia Künzer vom Deutschen Fernerkundungsdatenzentrum des DLR. Gleich in der Nähe von Dongying liegt Shengli, Chinas zweitgrößtes Ölfeld. Irgendwie ein wenig wie in Texas sieht es aus, dort, wo die Ölpumpen unermüdlich den Rohstoff aus der Erde ziehen.

Großstadt-Chinesen halten die Zwei-Millionen-Stadt in der Provinz Shandong noch für überschaubar: Shanghai hat offiziell 20 – inoffiziell 30 – Millionen Einwohner, in der Hauptstadt Beijing leben inzwischen mehr als 18 Millionen Menschen. Aber auch Dongying wächst. Enorm. In der Region sind in den letzten Jahren hunderte Industrieanlagen entstanden. Das Yellow-River-Delta boomt – allerdings leider auf Kosten der Natur, die für

Millionen von Zugvögeln Brut- und Rastgebiet ist. Mittlerweile ist das Delta eines der wichtigsten Industriezentren in Nord-Ost-Asien. „Solange in einer Gesellschaft viele Familien noch täglich um ihre Versorgung ringen, ein sehr mageres Einkommen haben, kein Auto besitzen, sich oft keine Krankenversicherung leisten können und teils sieben Tage in der Woche rund um die Uhr arbeiten, solange ist Umweltschutz ein Luxusthema und damit schwierig zu realisieren“, so die DLR-Wissenschaftlerin.

Claudia Künzer weiß, dass eine Balance zwischen Wirtschaftsentwicklung und Ressourcenschutz nicht einfach zu erreichen sein wird, dennoch wird sie als Projektleiterin für DELIGHT (Delta Information System for Geo-Environmental and Human Habitat Transition) gemeinsam mit vielen deutschen und chinesischen Kollegen dabei helfen, dass die Regierung vor Ort diesen Spagat zwischen Wirtschaft und Umwelt in den nächsten Jahren schafft. Das Delta soll in wenigen Jahren zu einer Modellregion werden, in der Ökonomie und Ökologie im Gleichgewicht sind. Der Wille ist bei der chinesischen Regierung vorhanden – das Wissen dazu auch, doch die Umsetzung ist eine Herausforderung.

Im Mai 2013 startete deshalb das deutsch-chinesische Projekt für ein Delta-Informationssystem. Jetzt machen sich die Projektleiterin und ihre DFD-Kollegen Malte Ahrens, Christina Eisfelder, Juliane Huth, Mattia Marconcini, Tobias Leichtle, Michel Wolters und Christian Wohlfart vor Ort ein Bild von den Dingen, die sie dann mit Satellitenaufnahmen untersuchen wollen. Zu Fuß, mit dem Rad und im Taxi geht es durch die Stadt, die seit 30 Jahren so wuchert, weil die Industrie die Menschen anlockt. Für die einen im Team sind die Eindrücke nicht neu, andere lernen China nun zum ersten Mal kennen. „Es ist einfach manchmal anstrengend, die fremde Sprache, die andere Kultur, die vielen neuen Dinge, die man sieht.“ Abends sitzt das Team auf Klapp-Holzstühlen in einem kleinen Lokal am Straßenrand – Pause im enggestrickten Programm. Am nächsten Tag wird es weitergehen. Auch das Umland – schützenswerte Biotope entlang der Küste – wird inspiziert. Dann werden sich vor dem Bus Koffer und Werkzeugkisten stapeln, bevor es gemeinsam mit Projektpartnern wie der Universität Bonn, der Universität Hannover oder dem Geoforschungszentrum Potsdam in das Yellow-River-Delta geht.



Unterwegs auf dem Gelben Fluss: DFD-Wissenschaftler gemeinsam mit Kollegen der Universität Hannover und der Firma Hydromod an Bord eines Messkampagnen-Schiffes



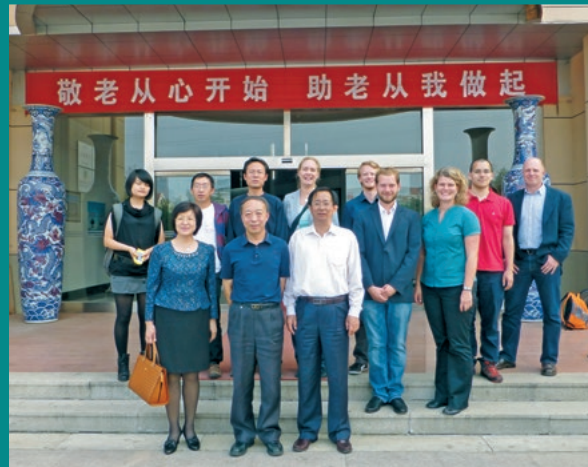
Feldforschung unter einem afrikanischen Baobab-Baum: Dr. Ursula Geßner vom DFD erfasst in der Savanne von Nord-Ghana die Landbedeckung



Abfahrt von Beijing nach Dongying: 30 deutsche und chinesische Wissenschaftler machen sich samt Gepäck und Messgeräten auf den Weg in die Flussdelta-Region



Workshop zur Hydrologie der Region – die Thermoskannen mit grünem Tee fehlen in China fast nie



Das in China obligatorische Gruppenfoto bei einem Besuch des Yellow River Nature Reserve Headquarters in Dongying



Unterwegs in der Flussdelta-Region: Dr. Claudia Künzer (rechts) und Doktorand Christian Wohlfahrt breiten Satellitenkarten auf dem Heck des Feld-Taxis aus. Mit radebrechendem Chinesisch sowie Händen und Füßen wird mit dem Taxifahrer kommuniziert.



Doktorand Tobias Leichtle (links) und Mattia Marconcini vom DFD sprechen mit einem der chinesischen Partner über Urbanisierung und Stadtplanung in Dongying

Über 18.000 Quadratkilometer erstreckt sich das Gebiet, in dem vieles seinen Platz findet: Natur, Aquakultur und Landwirtschaft für die Versorgung der nahegelegenen Großstädte wie beispielsweise Tianjin, aber auch Öl- und Gasfelder inmitten der Flussarme des Deltas. Land- und Wasserressourcen werden knapp in der Region, die natürlichen Feuchtgebiete, die Wetlands, degradieren, die Küste erodiert – und besonders der Mensch greift immer mehr in die natürliche Landschaft ein und verändert sie. Keine einfache Aufgabe, innerhalb kurzer Zeit möglichst viel zu sehen und Verständnis für die Probleme vor Ort zu entwickeln. „Hier setzen zum Beispiel alle auf eine Entwicklung hin zur Küste, zerstören dabei die Natur und gehen auch noch für sich selbst ein Risiko ein in dieser vom Meeresspiegelanstieg betroffenen Region.“ Warum entwickelt sich die Stadt vermehrt in Richtung Osten hin zur Küste? Wie reagieren die Einheimischen auf den Meeresspiegelanstieg und die Versalzung von Böden und Trinkwasser, die damit einhergeht? Welche wertvollen Feuchtgebiete weichen der industriellen Nahrungsproduktion? Claudia Künzer und ihr Team wollen die Prozesse verstehen, bevor sie sie in den nächsten drei Jahren analysieren.

Am Ende soll dann ein Delta-Informationssystem stehen, ein Datenportal, in dem alle Informationsprodukte wie thematische Karten, Statistiken, alle Veröffentlichungen und Projektdokumente maßgeschneidert für die Entscheidungsträger vor Ort zur Verfügung stehen. Am DFD entwickelt und realisiert, wird dieses Portal nachhaltig wirken – es wird zum Abschluss des Projekts an die lokale Regierung der Region übergeben. „Dafür müssen wir aber hier im Delta konkret wissen: Was braucht man vor Ort wirklich? Was interessiert am meisten?“ Dann können die Satellitenaufnahmen aus dem All und der Einsatz vor Ort einen kleinen Beitrag dazu leisten, viele Fragen zu klären. Wie verletzlich ist die Region durch die Ölindustrie? Was passiert am Oberlauf des Flusses und hat einen schädigenden Einfluss auf das Delta? Wie verändert sich die Landnutzung im Laufe der Zeit? „Aber dafür reicht die Forschungsarbeit im Büro in Oberpfaffenhofen nicht aus“, sagt Claudia Künzer. „Es ist genauso wichtig, mit lokalen Umweltwissenschaftlern und vor allem den Entscheidungsträgern im Delta zu sprechen.“

Inuvik – am Ende aller kanadischen Straßen

Wenn Hennes Henniger die Reise zu seinem entlegenen Arbeitsplatz antritt, sind Menschenmassen kein Problem. Im Gegenteil. In den Nordwest-Territorien Kanadas passiert nicht viel. „Die örtliche Radiostation hat Interesse an unserer Arbeit angemeldet und würde gerne darüber berichten.“ Deutsche, die anreisen, um ihre Satellitenantenne zu warten, sind eine willkommene Abwechslung für das Radioprogramm. Das kanadische Inuvik liegt weit jenseits des nördlichen Polarkreises. Der berühmte Dempster-Highway endet hier, nördlicher kann man in Kanada nicht auf einer Straße fahren. Im Winter versorgen mächtige Trucks noch nördlicher gelegene Regionen über den zugefrorenen McKennzie-River – über die sogenannte „Ice Road“. Eine rustikale Kneipe – „nicht schön, aber besonders“ –, Super-



Mit der Arbeitsbühne zum Getrieberaum der Antennenanlage: Arbeiten in 15 Meter Höhe mit dem einen oder anderen kräftigen Windstoß

märkte, ein Flughafen und etliche verlassene Gebäude. Inuvik, sagt Henniger, hat nicht furchtbar viel zu bieten. Die Menschen ziehen fort, dorthin, wo das Leben bequemer, die Energie günstiger und die Versorgung einfacher ist.

Einmal im Jahr reist Henniger meist gemeinsam mit einem weiteren Kollegen des DFD in den Norden Kanadas. Sein Ziel: die 13-Meter-Satellitenantenne, die vor allem die Daten der deutschen Radarsatelliten TerraSAR-X und TanDEM-X empfängt. Gesteuert und überwacht wird die Antenne, die 15 Mal am Tag einen Satelliten verfolgt, zwar aus Oberpfaffenhofen, „aber die Mechanik können wir halt nicht über das Internet schmieren.“ Deshalb stapft Henniger mit dicker Jacke und Wollmütze durch die kanadische Kälte, schippt Schnee vom Antennengelände und nimmt die Antenne in Augenschein. Scheuern sich Kabel durch? Bildet sich irgendwo Feuchtigkeit, wo sie nicht sein soll? „Die Arbeitsbühne fährt dann auf 15 Meter Höhe – da kann es einen im Wind schon ganz schön durchschütteln.“ Minus zehn bis minus 15 Grad Celsius sind es im Frühjahr. Eine trockene Kälte, in der dann ohne Handschuhe geschraubt und justiert werden muss. In der Übergangszeit ist es dann die feuchte Kälte, die alles in Matsch verwandelt und selbst durch die dickste Jacke kriecht. Im Sommer haftet dafür der Staub an Mensch und Schuh. Gerade einmal die Hauptstraße in Inuvik ist geteert, der Rest besteht aus Schotter und Erde, an Rasenflächen ist in dieser kargen Landschaft nicht zu denken.

„Vorsicht vor den Bären!“ haben Bauarbeiter den DFD-Mitarbeiter bereits gewarnt. Gesehen hat er noch keinen. Aber die Spuren, die hat der Bauarbeiter ihm schon gezeigt. „Mir wären die gar nicht aufgefallen, die Einheimischen erkennen sie aber sofort.“ Dreimal war Henniger bereits an der Antenne, die im August 2010 eingeweiht und durch die Inuit gesegnet wurde. Mal im Frühjahr, wenn die Temperaturen deutlich unter minus zehn Grad Celsius sinken, mal im Sommer, wenn die Sonne rund um die Uhr am Himmel steht und nach einer kurzen Dämmerung wieder aufgeht. Damals, erinnert sich Henniger, hatten er und seine Kollegen einen Grill direkt an der Blockhütte mit dem Rechnerequipment aufgebaut. Immer nur Burger mit Pommes – irgendwann hat man das auch satt, sagt er. „Da sucht man manchmal nach einer Alternative.“ Nur einmal die Woche liefert ein Lastwagen im Sommer frisches Gemüse und Obst nach Inuvik.

Zwei Wochen bleibt Henniger vor Ort. Gearbeitet wird zu Beginn sieben Tage die Woche, teilweise sind die Arbeitstage lang. „Am Anfang versuchen wir, alle Wartungen, alle Änderungen zügig durchzuführen, damit wir zum Ende hin beobachten können, ob alles stabil läuft.“ Niemand würde Änderungen am Tag vor seiner Abreise durchführen. „Bis man dann merkt, dass etwas schief läuft, ist man ja schon wieder weit weg von der Antenne.“ Läuft alles gut, ist vielleicht sogar Zeit für eine Fahrt mit dem Hundeschlitten. Ansonsten besteht der Alltag am anderen Ende der Welt aus Hotel und Arbeit – „na ja, ein Freizeitangebot muss man hier oben mühsam suchen.“



Eine staubige Schotterstraße führt zu den Kontrollhäuschen zwischen den Antennen



Im Winter muss man sich den Eingang zum Arbeitsplatz erstmal freischaufeln



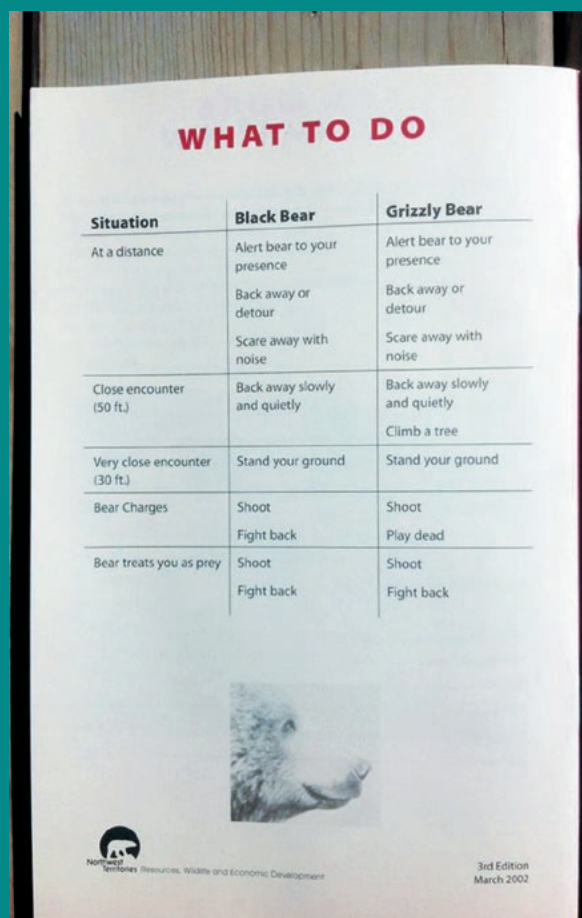
Auch das gehört zur Wartung: Lampenwechsel an der Antenne



Bei tiefen Temperaturen in Nordkanada werden aus Flüssen Straßen – über diese Ice-Road transportieren Lastkraftwagen Versorgungsgüter an die entlegenen Orte



Auf dem Antennenturm kontrolliert Hennes Henniger das Sichtfeld der Antenne



Auf eine Begegnung mit Bären sollte man in Nordkanada vorbereitet sein

Westafrika in alle vier Himmelsrichtungen

Zumindest die Straßenverhältnisse, auf die Dr. Ursula Geßner bei ihren Auslandsreisen trifft, ähneln den kanadischen Straßen im Sommer: Staubig und schwierig führen die Wege durch Burkina Faso, Ghana und Benin. „Ohne Jeep kommen wir nicht in unsere Untersuchungsgebiete.“ Einmal im Jahr reist die Geografin mit ihren Kollegen Kim Knauer und Markus Niklaus in die Länder, die im Projekt WASCAL (West African Science Service Center on Climate Change and Adapted Land Use) untersucht werden. Was Ursula Geßner und ihre Kollegen dann vor Ort machen, mag auf die Einheimischen zunächst seltsam wirken. „Die Menschen begegnen uns aber immer sehr offen und interessiert“, sagt sie. Die Wissenschaftlerin sucht sich vorher festgelegte Positionen mit ihrem GPS-Gerät, steht dann auf Feldern oder unter Baobab-Bäumen und fotografiert in exakt vier Richtungen. Norden, Osten, Süden, Westen. Viermal drehen, viermal auf den Auslöser drücken. Dann wird der Stift gezückt und sorgfältig notiert: Welche Landbedeckung ist in einem Umkreis von 50 Metern zu sehen? Strauchsavanne, Regenwald, Baumsavanne, Grasland? Wie wird das Land genutzt, gibt es Felder, Plantagen, bewässerte oder unbewässerte Böden?

Akribisch notiert sich Ursula Geßner dann, was sie sieht. So sammeln sie und ihre Kollegen Daten, mit denen die Produkte des DFD – beispielsweise die Karten zur Landbedeckung und -nutzung – geprüft werden. „Wir müssen wissen, ob unsere Analysen der Satellitenaufnahmen dem Test vor Ort standhalten.“ Mit jedem Besuch und jedem Blick in alle vier Himmelsrichtungen wächst das Verständnis der Wissenschaftler für die Zusammenhänge vor Ort, sodass sie ihre Auswertungen der Satellitendaten optimieren können. Vor allem die einheimischen Kinder sind fasziniert von der Arbeit der DFD-Mitarbeiter, aber auch die Erwachsenen fragen interessiert nach dem Sinn der ungewöhnlichen Aktion auf ihrem Feld, berichten gerne über ihre Anbaupraktiken und ihren Umgang mit den variablen Niederschlägen, die so wichtig für erfolgreiche Ernten sind.

Mit im Jeep: die afrikanischen Kollegen, die mit den Mitarbeitern des DFD und der anderen deutschen Partner wie der Universität Würzburg oder des Zentrums für Entwicklungsforschung (ZEF) der Universität Bonn zusammenarbeiten. „Wir müssen uns an deren Arbeitsweise gewöhnen, sie sich an unsere.“ Enorm aufgeschlossen und interessiert seien die einheimischen



Am Abend nach der Geländearbeit: DFD-Wissenschaftler Kim Knauer bereitet die gesammelten Daten auf

Wissenschaftler. Die Besucher aus Deutschland profitieren ebenso von der Kooperation wie die Menschen vor Ort. „Es hilft, die Landschaft und die Veränderungsprozesse, denen die Umwelt ausgesetzt ist, zu verstehen und sie zu analysieren.“ WASCAL beschäftigt sich mit den Auswirkungen des Klimawandels in Westafrika und untersucht Anpassungsmöglichkeiten für eine nachhaltige Landnutzung. Das deutsch-afrikanische interdisziplinäre Forscherteam geht vor allem einer Frage nach: Wie kann eine angepasste Nutzung aussehen, die sowohl der Nahrungsmittelversorgung und dem Einkommen der Menschen als auch dem Schutz natürlicher Ressourcen gerecht wird? Zwei bis vier Wochen bleiben die deutschen Wissenschaftler in Afrika, reisen durch die Hauptuntersuchungsgebiete und halten Workshops zu verschiedenen Themen ab.

Immer grüner wird es, wenn die Jeeps vom trockenen kargen Norden in den üppigen Süden fahren. Einzelne Lehmhütten, quirlige Kleinstädte, Rinderherden und mit Ziegen und Säcken vollgepackte Lastwagen ziehen am staubigen Autofenster vorbei, bis wieder der nächste Messpunkt erreicht ist. Mittags, wenn die Hitze mit bis zu 38 Grad Celsius am größten ist, stehen Fufu aus Maniok und Kochbananen, Bohnen und Hühnchen mit scharfer Soße auf den Tischen in den kleinen Straßenimbissen. Die westafrikanischen Länder bieten in ihren Städten eine gute Infrastruktur. Sind die Strecken zwischen den Orten einsam und gerade in der Regenzeit schwierig zu befahren, so bieten die Städte alles, was man zum alltäglichen Leben benötigt.

Zurück am Arbeitsplatz in Deutschland wird Ursula Geßner wieder statt auf die Savanne auf Satellitenaufnahmen blicken. „Wir wollen mit den Aufnahmen nachvollziehen, wie und warum sich die Landschaft verändert, und welche Folgen dies beispielsweise für die landwirtschaftliche Produktivität oder die terrestrische Kohlenstoffspeicherung hat“, sagt sie. Auch wenn sie dann nur an ihrem Schreibtisch sitzt – in ihrem Kopf werden die Satellitenaufnahmen dennoch Bilder auslösen. Bilder von Savannen, Bäumen und Ackerflächen. ●



Weitere Informationen:
DLR.de/DFD



Die Aufnahmen vom Gelände werden mit Hilfe eines GPS-Geräts verortet, um sie später mit den Satellitendaten zusammenzufügen



Reisen mit Hindernissen: Nach Regenfällen sind die Straßen, wie zum Beispiel hier in Benin, teilweise schwer befahrbar



Mit einem speziellen Kamera-Objektiv fotografieren die Forscher die Baumkronen. So erfassen sie Dichte und Lichtdurchlässigkeit des Blätterdachs.

Sechzehn Tonnen in der Schwebe

Klebstoff ist Klebstoff. Oder auch nicht. Dr. Joachim Hausmann ist eindeutig für Letzteres. Der Mitarbeiter des DLR-Instituts für Werkstoff-Forschung hat dies mit seinem Team am diesjährigen Tag der Luft- und Raumfahrt im DLR Köln eindrucksvoll unter Beweis gestellt. Die Requisiten dazu: Ein Kran, eine 16 Tonnen schwere Zugmaschine, zwei Stahlbolzen – und der richtige Kleber mit der richtigen Technik. Das Ergebnis: Ein erfolgreicher Weltrekord, der offiziell bei Guinness World Records in der Kategorie „Schwerstes mit Klebstoff gehobenes Gewicht“ eingereicht werden soll.

Kleben mit der richtigen Technik: DLR-Werkstoff-Forscher zeigten, wie es geht

Von Manuela Braun

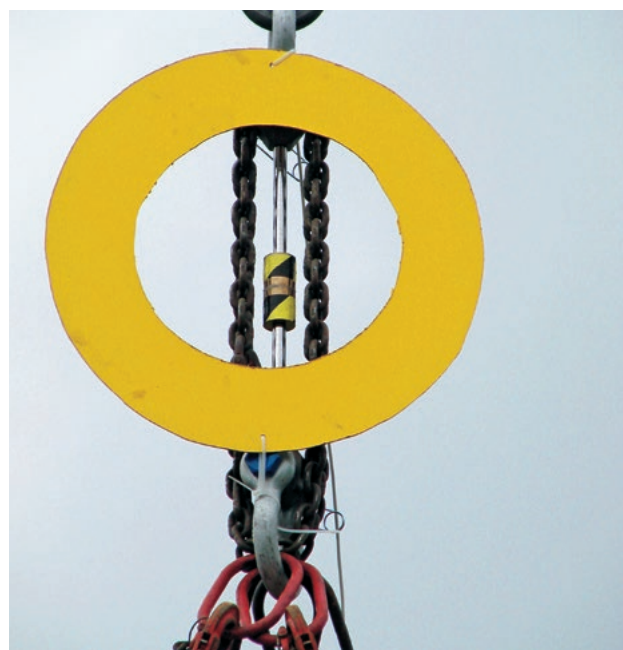
Die ersten fünf Minuten sind die gefährlichsten – wenn der Kran den Lastwagen in die Höhe hebt und nur noch zwei miteinander verklebte Bolzen mit einem Durchmesser von gerade einmal sieben Zentimetern die gesamte Last tragen. Eine Stunde lang in einer Höhe von einem Meter musste der Kleber das Schwergewicht in der Luft halten, damit der bisherige Weltrekord mit einem Zehntonner überboten werden konnte. Am Tag der Luft- und Raumfahrt sicherten schwere Ketten die Zugmaschine – für den Fall, dass der Klebstoff versagt hätte. „In unserer Werkstatt hatten wir die Klebetechnik natürlich schon oft für den Rekordversuch getestet“, führt Joachim Hausmann aus. Dort habe ein verklebter Bolzen in der Prüfmaschine sogar Lasten von über 28 Tonnen ausgehalten. Bei anderen Tests hingegen wäre der Weltrekordversuch gescheitert. Immer wieder feilten die Wissenschaftler an der Technik.

„Ein guter Klebstoff alleine reicht nicht aus“, betont Karola Schulze, die im Institut für Werkstoff-Forschung als Doktorandin zu dem Thema forscht. Wo der Laie ganz einfach mal auf die Tube drückt, Kleber verteilt, kurz die Flächen zusammendrückt und hofft, dass alles möglichst lange halten wird, optimiert der Fachmann jeden einzelnen Arbeitsschritt des gesamten Prozesses. Kleben ist ein stoffschlüssiges Fügeverfahren – und dabei kommt es nicht nur auf den Klebstoff, sondern vor allem auf die Oberflächenbehandlung der Klebeflächen und das Klebeverfahren selbst an. „Die Oberfläche haben wir zum Beispiel mit einem Laser gereinigt und zudem ganz leicht aufgeraut – das geschieht zwar nur im Nanometerbereich, ist aber enorm effektiv.“ Auf die Bolzen wird der Hochleistungskunststoff dann als Folie, in Pulverform oder als Dispersion aufgetragen und in einem Ofen bis auf 400 Grad Celsius aufgeheizt. Kühlt der Klebstoff ab, wird er fest und verbindet die beiden Stahlzylinder auf diese Weise.

Klebstoff statt Nieten und Schrauben

Eingesetzt wird der Kunststoff, den die DLR-Werkstoff-Forscher verwendeten, beispielsweise in der Luftfahrt, um ungleiche Materialien wie Metalle und faserverstärkte Kunststoffe miteinander zu verbinden. „Strukturbauteile aus faserverstärkten Kunststoffen im Flugzeug müssen häufig auch mit Metall verbunden werden – das geschieht bisher häufig noch mit Schrauben und Nieten, weil Schweißen nicht möglich ist“, erläutert Hausmann. Bolzen und Nieten aber bedeuten zusätzliches Gewicht und die notwendigen Löcher beispielsweise für Schrauben schwächen die Struktur. „Klebstoffe mit der richtigen Vorbehandlung der Oberflächen und der entsprechenden Klebetechnik haben diese Nachteile nicht.“

Am 22. September 2013 hing der Beweis, dass die Klebetechnik des DLR jede Menge aushält, für Zehntausende Besucher bis 14:15 Uhr sichtbar in der Luft: Eine Stunde lang hatten die verklebten Stahlzylinder das Rekordgewicht von 16 Tonnen getragen – und damit den bestehenden Weltrekord um rund 60 Prozent überboten. Die Stahlzylinder haben die Schwerstarbeit unbeschadet überstanden. „Eine Klebetechnik, die so eine Belastung ohne Probleme über einen langen Zeitraum halten kann, ist vielseitig einsetzbar“, betont Hausmann ... ●



Die Klebefläche der beiden schwarz-gelb markierten Bolzen war nicht größer als die Fläche einer Scheckkarte. Die zwei Ketten dienten lediglich der Sicherung des Versuchs.



Weitere Informationen:
s.DLR.de/5v3n



Gelungener Weltrekordversuch der DLR-Werkstoff-Forscher: Eine Stunde lang hing der Sechzehntonner an zwei miteinander verklebten Bolzen einen Meter über dem Boden

Pionier auf einem schmutzigen Schneeball

Seit fast zehn Jahren fliegt die Raumsonde Rosetta mit dem Lander Philae an Bord bereits durch den Weltraum. Noch ist der Lander-Kontrollraum im Nutzerzentrum für Weltraumexperimente (MUSC) in Köln verlassen: Leere Stühle. Ausgeschaltete Bildschirme. Die einzige Bewegung: Eine digitale Uhr im Hintergrund, die mit roten Ziffern das aktuelle Datum, die Ortszeit und die Weltzeit UTC anzeigt. Ab Januar 2014 wird dies ganz anders aussehen, dann wechseln die Wissenschaftler aus den Büros in den Kontrollraum, um die Raumsonde Rosetta und den Lander Philae nach monatelangem Winterschlaf wieder aufzuwecken. Im November 2014 folgt dann nicht nur der Höhepunkt, sondern auch die gewagteste Phase der Mission: die erste Landung auf einem großen schmutzigen Schneeball aus Staub und Eis – dem Kometen 67P/Churyumov-Gerasimenko.

Rosetta-Mission: Lander Philae kommt 2014 an seinem Ziel an

Von Manuela Braun

Kometen können einfache Namen tragen. Namen, die sich einprägen, die man sich merken kann. Tempel 1. Hale-Bopp. Wild 2. Der Halleysche Komet hat es wohl zur größten Berühmtheit gebracht. Die Raumsonde Rosetta fliegt mit Lander Philae nun allerdings zum Kometen Churyumov-Gerasimenko. Ein Zungenbrecher allererster Güte. Aber als Klim Iwanowitsch Churyumov 1969 am Institut für Astrophysik in Kasachstan den Kometen mehr durch Zufall auf einer Fotoplate entdeckte, die Swetlana Gerasimenko belichtet hatte, dachte noch niemand daran, jemals einen Lander dort aufsetzen zu lassen. Mittlerweile ist Lander Philae schon sieben Milliarden Kilometer durch das Weltall geflogen, um im November 2014 an dem Kometen mit dem komplizierten Namen ein gewagtes, schwieriges Landemanöver auszuführen.

Missionsstart mit Überraschung

Bis Dezember 2002 hätte es allerdings ein ganz anderer Komet werden sollen: Komet 46P/Wirtanen. Seit rund zehn Jahren hatten die Planetenforscher und Ingenieure ihre Mission für den kleinen Kometen mit einem Durchmesser von gerade einmal einem Kilometer vorbereitet. Geplanter Starttermin: 13. Januar 2003. Doch dann musste nur zwei Monate zuvor eine Trägerrakete Ariane 5 mitsamt ihrer Nutzlast kurz nach ihrem Start gesprengt werden. An einen weiteren Start schon kurz danach war nicht mehr zu denken, ohne die Fehlerursache genau analysiert zu haben. „Ja, da war schon kurzzeitig ein wenig Besorgnis da“, erinnert sich Dr. Stephan Ulamec, Projektleiter für den Lander, der unter der Leitung des DLR entwickelt und gebaut wurde. Das Startfenster verstrich durch diesen Fehlstart nämlich und mit ihm entschwand 46P/Wirtanen für die nächsten sechs Jahre aus der Reichweite.

Eine fertige Sonde, ein fertiger Lander – und kein Ziel. „Niemand hatte einen Reserve-Kometen in der Tasche!“ Gesucht war ein aktiver Komet, der nicht nur ähnlich interessant für die Wissenschaftler, sondern auch innerhalb der geplanten Flugdauer von zehn Jahren erreichbar war. Auch Sonde und Lander – entwickelt für die Reise zu Wirtanen – setzten dem Missionsteam Grenzen: „Ein Vorbeiflug an der Venus beispielsweise wäre nicht machbar gewesen, weil die Sonde das thermisch nicht vertragen hätte“, erläutert der Geophysiker und Systemingenieur Ulamec. „Und am Lander selbst waren nur noch minimale Modifikationen möglich.“ Schließlich entschied man sich für Churyumov-Gerasimenko: ein kleiner, unregelmäßig geformter Himmelskörper, etwa drei mal fünf Kilometer groß, der innerhalb von 6,6 Jahren die Sonne umkreist. Die Wissenschaftler und Ingenieure mussten mit dem Wechsel des Ziels das komplette Abstiegsszenario neu berechnen und planen. Seit dem 2. März 2004 fliegt die Rosetta-Sonde nun schon auf ihr kurzfristig beschlossenes Ziel zu, hat mehrfach Schwung geholt an Erde und Mars und im nahen Vorbeiflug an den Asteroiden Steins und Lutetia einige Instrumente getestet und die Himmelskörper fotografiert.



Überwacht und betreut wird der Lander Philae aus dem Kontrollraum des DLR in Köln



Bild: ESA

An Bord der ESA-Sonde Rosetta fliegt der Lander Philae seit 2004 zum Zielkometen Churyumov-Gerasimenko

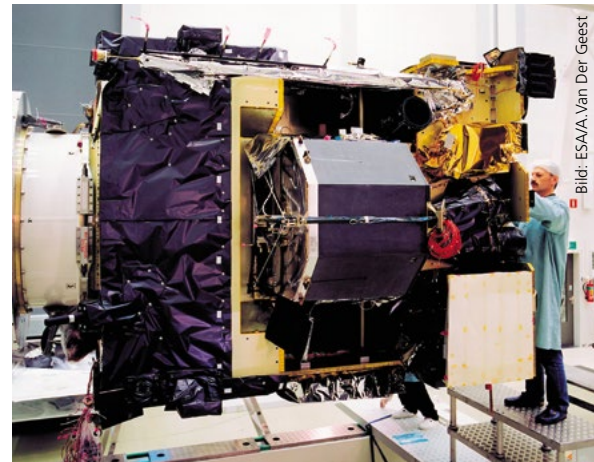
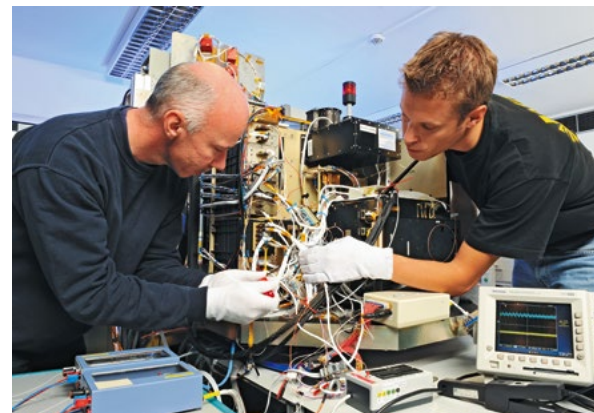


Bild: ESA/A. Van Der Geest

Bei Vibrationstests stellten die Ingenieure Lander und Sonde vor dem Abflug ausgiebig auf die Probe



Während Philae zu seinem Ziel fliegt, optimieren die Ingenieure des DLR mit einem originalgetreuen Modell die Software. Diese wird vor der Landung dann auf den neuesten Stand gebracht.



Die Kamera ROLIS am Lander Philae wird während der Landung Aufnahmen des Landeplatzes zur Erde senden

Von Neuschnee bis Eiszacken

„Wir wissen nicht, was uns bei der Ankunft erwartet.“ Stephan Ulamec zieht die Schultern hoch. Bisher hat man von Churyumov-Gerasimenko nur Daten, die das Hubble-Teleskop aus weiter Ferne aufnahm. „Die Oberfläche könnte weicher als Neuschnee sein – dann sinken wir eher ein. Sie könnte aber auch aus unzähligen scharfen Eiszacken bestehen – das macht die Landung sicher nicht leichter.“ Sobald der Lander Bodenkontakt spürt, werden deshalb zwei Harpunen in den Boden geschossen, die Philae am Kometen festzurren. Kräftige Eisschrauben bohren sich zudem in den eventuell festen Untergrund.

Der Komet birgt aber auch noch ein weiteres Risiko: Er gast aus, mit zunehmender Nähe zur Sonne erwärmt er sich und verströmt seine flüchtigen Bestandteile und Staubpartikel – die Koma und der Schweif bilden sich aus. Diese könnten Sonde und Lander beschädigen, sie aber auch während des Abstiegs ablenken. Zudem beträgt die Anziehungskraft des Kometen nur etwa ein Hunderttausendstel (!) der Erdgravitation. Bei der Landung werden deshalb zusätzlich Kaltgasdüsen das Modul sanft auf den Untergrund drücken. „Die Landung wird mehr eine Art Docken sein“, erläutert Ulamec. Wird die Auftreffenergie von Philae nicht absorbiert, prallt er womöglich ab – und die Landemission wäre gescheitert. Mit gerade einem halben bis einem Meter in der Sekunde wird sich der Lander deshalb auf den Kometen absenken. „Eine solche Landung ist ein hohes Risiko, das wir eingehen“, betont der Philae-Projektleiter.

Tiefgekühltes Material vom Ursprung

Bisher wurden Kometen nur mit kurzen Vorbeiflügen untersucht: 1986 erhielt der Halleysche Komet beispielsweise Besuch von gleich fünf Sonden. Die europäische Sonde Giotto näherte sich bis auf knapp 600 Kilometer, die beiden russischen Vega-Sonden und zwei weitere japanische Sonden blickten aus einer Entfernung von mehreren Tausend Kilometern auf den Kometen. 2004 tauchte die amerikanische Sonde Stardust in die Gashülle, die Koma, von Komet Wild 2 und sammelte – 240 Kilometer vom Himmelskörper entfernt – dort Material ein, das 2006 in einer Kapsel zur Erde zurückkehrte. 2005 ließ die Sonde Deep Impact der NASA ein Projektil auf dem Kometen Tempel 1 einschlagen, um so das herausgeschleuderte Material untersuchen zu können. Einen Kometen auf seinem Weg in Richtung Sonne zu begleiten und sogar auf ihm zu landen – diese Premiere bleibt der Rosetta-Sonde und dem Philae-Lander vorbehalten.

Dr. Ekkehard Kührt ist der Projektleiter für die wissenschaftlichen Experimente des DLR auf Sonde und Lander. „Ich beschäftige mich seit 30 Jahren mit Kometen, da bin ich natürlich voreingenommen. Aber für mich ist Rosetta eine ganz besondere Mission, die uns zu den Ursprüngen des Planetensystems vor 4,6 Milliarden Jahren führt. Wir untersuchen einen Himmelskörper, der wie ein Tiefkühlschrank die ursprünglichste Materie in unserem Sonnensystem konserviert hat.“ Erst mit der Annäherung an die Sonne beginnt sich ein Komet durch die Erwärmung zu verändern. „Vieles ist noch gar nicht verstanden: Wie läuft diese Phase der Aktivität genau ab? Wie erfolgt das Verdampfen der flüchtigen Anteile? Wie ist das Eis auf einem Kometen verteilt? Jetzt begleiten wir das erste Mal einen Kometen über einen längeren Zeitraum, sehen ihn erwachen und landen sogar auf ihm.“

Allein drei Instrumente auf dem Lander werden unter der Leitung der DLR-Planetenforscher betrieben: Die Kamera ROLIS (Rosetta Landing Imaging System) nimmt noch während des Landeanflugs die ersten Bilder der Kometenoberfläche auf und liefert anschließend Informationen über die Bodenbeschaffenheit. MUPUS (Multi-Purpose Sensors for Surface and Sub-Surface Science) wird sich mit einem Hammer bis 30 Zentimeter tief in den Boden schlagen und dort unter anderem die Temperatur messen. SESAME (Surface Electrical, Seismic und Acoustic

Monitoring Experiments) sendet Schallwellen aus und analysiert so den Boden von Churyumov-Gerasimenko. An zahlreichen weiteren Instrumenten auf der Muttersonde Rosetta sind die Planetenforscher des DLR beteiligt – beispielsweise am Spektrometer VIRTIS (Visible and Infrared Thermal Imaging Spectrometer), das die Zusammensetzung der Kometenoberfläche und der Koma untersucht, oder an der Tele- und Weitwinkelkamera OSIRIS (Optical, Spectroscopic and InfraRed Imaging System), die im Sommer 2014 die ersten Fotos von Churyumov-Gerasimenko aufnehmen wird.

Einige der Instrumente lieferten schon bei den Vorbeiflügen 2008 an Šteins und 2010 an Lutetia spannende Daten, unter anderem zur Oberflächengestalt und zur chemischen Zusammensetzung der beiden Asteroiden. So entstanden bereits vor der Ankunft der Mission am Ziel zahlreiche wissenschaftliche Veröffentlichungen. Aus den gewonnenen Daten zu Lutetia berechneten die Planetenforscher des DLR zudem ein dreidimensionales Modell des unregelmäßig geformten Himmelskörpers. Die Messungen dienten vor allem aber als wichtige Tests für die Funktionsfähigkeit der Experimente. Auch wenn an den Instrumenten selbst keine Veränderungen mehr möglich sind – die Software kann immer noch optimiert und ein Update zur Sonde geschickt werden. Selbst als die Sonde an Mars und Erde Schwung holte, nutzten die Wissenschaftler die Gelegenheit und setzten unter anderem Kamera und Spektrometer ein.

Landeplatz zwischen Neugier und Sicherheit

Noch kennt niemand den Landeplatz, auf dem Philae mit seinen filigranen Beinen aufsetzen soll. Möglichst etwas mit viel Eis und viel verdampfenden Gasen, sagt Planetenforscher Ekkehard Kührt. Möglichst sicher und kein zu hügeliges Gebiet, sagt Projektleiter Stephan Ulamec. Irgendwo zwischen wissenschaftlicher Neugierde und ingenieurtechnischem Sicherheitsdenken wird die Realität liegen müssen. Das Aufsetzen selbst haben DLR-Ingenieure in Bremen mit der Lande- und Mobilitätstestanlage LAMA immer wieder simuliert: Auf harten Holzplatten, in weichem Sand – das Bodenmodell des Landers hat einiges aushalten müssen, um wichtige Daten für die Landung des Flugmodells zu liefern. In Softwaretests programmieren die Testingenieure am DLR in Köln Kurzschlüsse, Pannen und andere schwierige Situationen, um ein Bodenmodell für den Ernstfall zu trainieren. Nachdem die Rosetta-Sonde im Januar 2014 und kurze Zeit später der Philae-Lander aus ihrem Winterschlaf aufgewacht sind, werden die Updates rechtzeitig vor der Landung im November in Richtung Weltraum geschickt.

„Bei der Landung selbst können wir nicht mehr eingreifen, sobald die Abtrennung von der Muttersonde ausgelöst wurde“, betont Ulamec. Jedes Kommando benötigt eine halbe Stunde von der Erde bis zu Philae – jede Antwort kommt mit einer halben Stunde Verzögerung im Kontrollraum an. „Wenn alle Experten im Kontrollraum in Köln ihr Okay gegeben haben und das Kommando zur Landung zu Philae geschickt wird, gibt es kein Zurück mehr.“ Im Lander Control Center des DLR-Nutzerzentrums werden dann über jeden Bildschirm Daten einlaufen, jede Konsole wird besetzt sein. Für Planetenforscher wie Ekkehard Kührt werden dann die Instrumente Informationen liefern, wie sie bisher noch bei keiner Kometen-Mission gewonnen wurden: „Wir könnten vor Ort Belege für die Ursuppe mit Wasser und organischem Material finden, die mit Kometeneinschlägen zur Erde gelangte und das Leben auf unserem Planeten ausgelöst hat.“ ●



Weitere Informationen:
DLR.de/Rosetta

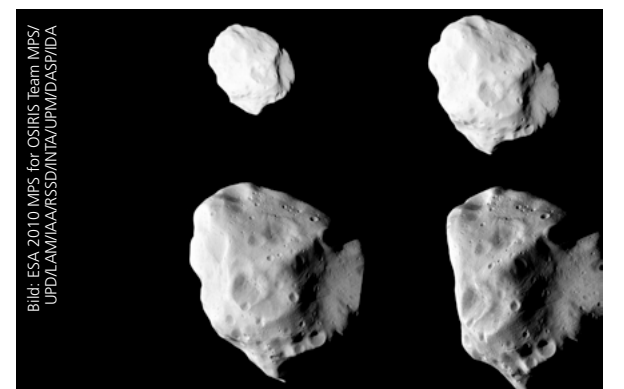


Bild: ESA

Mit Philae wird erstmals ein Lander auf einem Kometen aufsetzen und vor Ort Messungen durchführen



Komet Hale-Bopp wurde 1995 entdeckt – erhielt aber bisher noch keinen Besuch von einer Sonde



Bei einem Vorbeiflug an Asteroid Lutetia wurden die Instrumente der Rosetta-Sonde eingeschaltet und bei der Annäherung zahlreiche Fotos von dem Himmelskörper aufgenommen



Komet Tempel 1 wurde bei der NASA-Mission Deep Impact mit einem Projektil beschossen, um herausgeschleudertes Material untersuchen zu können

Weltraummeldungen

Der Mars macht Stars: Doktorandenpreis für DLR-Forscherin

Generationen von Wissenschaftlern forschen seit jeher, ob es jemals Leben auf dem Mars gab. Dieser Frage ging auch die DLR-Doktorandin Dr. Anja Bauermeister nach, die mit ihren Forschungsergebnissen den Helmholtz-Doktorandenpreis gewann. Aus insgesamt 21 Vorschlägen wurde ihre Arbeit zur „Bedeutung von Eisenschwefelbakterien für den Mars“ ausgezeichnet.

„Auf der Marsoberfläche herrschen extreme Bedingungen, die selbst unsere widerstandsfähigsten Bakterien nur kurzzeitig überleben: sehr kalt, sehr trocken und hohe Strahlungsbelastung. Deshalb gehe ich davon aus, dass sich Leben, wenn überhaupt, im Untergrund befindet.“ Die 29-jährige Mikrobiologin wollte wissen: Gibt es irdische Bakterien, die dem standhalten und unter Marsbedingungen nicht nur überleben, sondern auch wachsen könnten? Um das zu erfahren, testete sie Eisenschwefelbakterien. Eine eisenhaltige Mars-Mineralienmischung diente als Nährboden. Den Bakterien genügte dieses karge Nährstoffangebot, um zu wachsen, selbst in einer sauerstofflosen Atmosphäre, wie sie auf dem Mars herrscht.

Aber können die Bakterien auch mit den extremen Umweltbedingungen, wie hohen Strahlungen oder niedrigen Temperaturen, umgehen? Um das herauszubekommen, wurden sie getrocknet und eingefroren. Das Ergebnis war negativ. Anders hingegen beim nächsten Experiment: Sieben Tage in simulierter Marsatmosphäre, bei verringertem Druck und minus 20 Grad Celsius, überlebten die Bakterien.

„Der Preis hat mich total vom Hocker gehauen“, sagt die frisch promovierte Wissenschaftlerin Anja Bauermeister. Die 5.000 Euro Preisgeld legt sie erst einmal auf die „hohe Kante“. Die Förderung von 2.000 Euro monatlich für sechs Monate an einer internationalen Forschungseinrichtung möchte sie zum Vertiefen ihrer wissenschaftlichen Kenntnisse nutzen. „Nach dieser Zeit kann ich mir vorstellen, ans DLR zurückzukehren. Hier gibt es interessante Möglichkeiten für mich“.

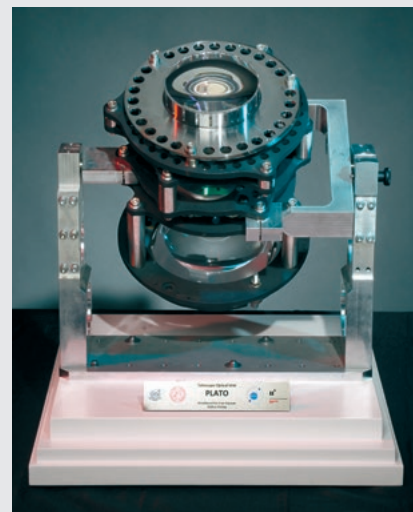
Sarah Lange

bit.ly/1cdblR2M



Dr. Anja Bauermeister begutachtet Bakterienkulturen: Hätten sie auf dem Mars eine Überlebenschance?

PLATO 2.0 sieht tief in den Weltraum



Eine der 34 optischen Einheiten des Satelliten PLATO für Kryo-Vakuum-Tests

Das Teleskop PLATO 2.0 kandidiert für eine Zukunftsmission der ESA. Das vom DLR geleitete Projekt eines satellitengestützten Weltraumteleskops soll helfen, Exoplaneten im Transit vor ihrem Zentralstern zu entdecken und zu charakterisieren und somit die erfolgreichen Missionen CoRoT (CNES) und Kepler (NASA) fortsetzen. Im Fokus stehen dabei terrestrische Planeten in der „habitablen Zone“, das heißt in einer Zone, in der sich Leben gebildet haben könnte. Durch asteroseismologische Verfahren können darüber hinaus die Zentralsterne umfassend untersucht werden. Dank der Kombination beider Methoden lässt sich so erstmals ein umfassender Katalog tausender hervorragender charakterisierter Exoplaneten erstellen, der auch hunderte erdähnliche Planeten in der „habitablen Zone“ enthalten wird. Erstmals wird auch das Alter von Planetensystemen umfassend ermittelt werden können. Mit Hilfe des PLATO-2.0-Katalogs können Planetensysteme in verschiedenen Entwicklungsstadien miteinander verglichen werden. PLATO 2.0 wird als erste Mission in der Lage sein, Planetensysteme zu finden und zu charakterisieren, die unserem Sonnensystem ähnlich sind.

Die wissenschaftliche Ausrüstung von PLATO 2.0 besteht aus 34 unabhängigen dioptrischen Kameras, jede bestückt mit einer 120-Millimeter-Weitwinkeloptik. Das System arbeitet in den Wellenlängen des sichtbaren Lichts und im nahen Infrarot (0,5-0,95 Mikrometer). Die Leitung des internationalen Instrumentenkonsortiums liegt beim Institut für Planetenforschung im DLR Berlin. Im Februar 2014 wird die wissenschaftliche Programmkommission der ESA im Rahmen des für die Jahre 2015 bis 2025 geplanten Cosmic-Vision-Programms ihre endgültige Auswahl für die Mission M3 treffen.

sci.esa.int/plato



Plattform MUSES für die ISS erweitert Erdbeobachtungskapazität

Zur Erweiterung der Erdbeobachtungskapazität der Internationalen Raumstation planen das DLR und die Teledyne Brown Engineering Inc., eine Plattform auf der ISS zu montieren. Auf dem „Multi-User-System for Earth Sensing“, kurz MUSES, sollen beispielsweise hochauflösende Digitalkameras positioniert werden. Bis zu vier Geräte gleichzeitig kann die flexible Plattform tragen. Die Instrumente können ab-, neu aufgebaut oder robotisch angepasst werden. Das DLR entwickelt für die Plattform ein erweitertes Nah-Infrarot-Spektrometer. Es wird unter anderem Informationen über die Atmosphäre der Ozeane und deren bio-geophysikalische Zusammensetzung liefern. Die aus dem Weltraum gesammelten Daten von hoher spektraler Qualität ermöglichen es unter anderem, Veränderungen von Landoberflächen, Meeren und der Atmosphäre zu erkennen sowie Maßnahmen zum Schutz von Umwelt und Klima zu entwickeln. Das DLR-Instrument arbeitet im Wellenlängenbereich vom sichtbaren bis nahen Infrarot und ermöglicht so eine präzise Datenerfassung von der Erdoberfläche für Anwendungen im Bereich der Feuererkennung, der maritimen Sicherheit und der Atmosphärenforschung.

s.DLR.de/w6iu

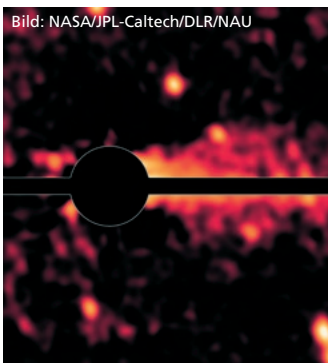


Die Erdbeobachtungsplattform MUSES auf der ISS wird die Forschungskapazität auf der Raumstation erweitern

Asteroid Don Quixote als Komet „entlarvt“

Seit seiner Entdeckung 1983 galt (3552) Don Quixote als Asteroid – wenn auch mit einer stark kometenähnlichen Bahn. Jetzt sind die Planetenforscher allerdings mit dem Weltraum-Teleskop „Spitzer“ einem Geheimnis des vermeintlichen Asteroiden auf die Spur gekommen: Don Quixote zeigt mit einem schwachen Schweif und einer Koma, also einer Art Schweif, aus Staub und Gas, dass er zu den aktiven Kometen gehört. Zu diesem Ergebnis kamen Wissenschaftler am DLR-Institut für Planetenforschung. „Diese Entdeckung konnte nur mit dem empfindlichen Infrarot-Teleskop Spitzer erreicht werden – Teleskope auf der Erde reichen dafür nicht aus“, betont Michael Mommert von der Northern Arizona University (NAU), der die Forschungsarbeit als Doktorand am DLR durchführte. Mit der Methode können nun wahrscheinlich auch andere Asteroiden als Kometen entlarvt werden.

s.DLR.de/9fgm



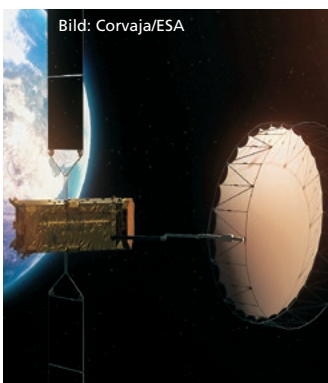
Schweif des aktiven Kometen Don Quixote

Mit Alphasat I-XL umkreist Europas größter Kommunikationssatellit die Erde

Seit dem 25. Juli 2013 umrundet der bislang größte ESA-Kommunikationssatellit Alphasat I-XL die Erde. Er wird in Public-Private-Partnership (PPP) zwischen der ESA und Inmarsat, einer globalen Betreiberfirma für mobile Satellitenkommunikationsdienste, betrieben. Dieser öffentlich-privaten Partnerschaft verdankt der Satellit auch das „I“ (für Inmarsat) in seinem Namen.

Das Alphasat-Entwicklungsprojekt im Rahmen des ESA-Satellitenprogramms (ARTES 8), an dem sich Deutschland über das DLR Raumfahrtmanagement beteiligt, verfolgt mehrere Ziele. Neben der kommerziellen Nutzlast bietet Alphasat I-XL zusätzlichen Platz für Technologien, die erstmals im geostationären Orbit getestet werden. Von den vier Nutzlasten, die zu Demonstrationszwecken mitfliegen, kommen zwei aus Deutschland: Ein Sternsensor der Firma Jena Optronik liefert hochgenaue Bahn- und Lageinformationen und unterstützt damit auch die präzise Ausrichtung des ebenfalls aus Deutschland stammenden optischen Laser-Kommunikationsterminals (LCT).

s.DLR.de/5sfg



Künstlerische Darstellung von Alphasat I-XL

Sonne und Wind als treibende Kraft

In seiner Doktorarbeit entwickelte Marc Röger ein berührungsloses Messverfahren, das den Wärmeübergang auf Komponenten in Solarkraftwerken misst, und wurde dafür mit dem DLR-Wissenschaftspreis ausgezeichnet. Inzwischen leitet er die Gruppe Systeme in der Abteilung Qualifizierung beim DLR-Institut für Solarforschung in Almería in Südspanien. Aber Wissenschaft ist nicht alles für den Umwelttechnik-Ingenieur. Seine Kenntnisse und Erfahrung setzte er auch im Messtechnikunternehmen CSP Services, einer Ausgründung aus dem DLR, ein. Und wenn er die Zeit findet, dann tobt er sich mit seinem Surfbrett in den andalusischen Küstengewässern aus.

Solarforscher Marc Röger arbeitet auf der Plataforma Solar Almería im Süden Spaniens

Von Dorothee Bürkle

Es gibt Tage, da gehen auf Marc Rögers Mobiltelefon schon morgens die Nachrichten ein, wo Wind und Wellen zum Windsurfen am besten sind. „Wochentags fällt es mir nicht gar so schwer, sie zu ignorieren“, sagt der begeisterte Surfer. Von seiner Wohnung in Almería aus, wo er den Strand sozusagen vor der Haustür hat, startet er stattdessen in die Berge von Tabernas, wo das DLR, 40 Minuten von Almería entfernt, gemeinsam mit dem spanischen Energieforschungszentrum Ciemat (Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas) auf der Plataforma Solar de Almería Solarkraftwerke testet.

Solarkraftwerke können weltweit zu einer sicheren Versorgung mit Energie beitragen. Röger und sein Team arbeiten an neuen Messverfahren, die Solarkraftwerke kontinuierlich besser und effizienter machen. In seiner Doktorarbeit entwickelte Röger ein berührungsloses Messverfahren, das die Wärmeübertragung zwischen dem Receiver (jener Stelle also, an der die Sonnenstrahlen in Wärme umgewandelt werden) und der Luft messen kann. Was sich zunächst theoretisch anhört, hilft in der Praxis den Betreibern der Kraftwerke, die Temperaturen im Receiver auf über 1.000 Grad Celsius steigen zu lassen, ohne dass dieser überhitzt wird und es zu Materialausfällen kommt.



Unpräzise ausgerichtete Spiegel – auch wenn es nur um wenige Millimeter geht – vermindern den Ertrag eines Solarkraftwerks. Marc Röger und sein Team vermessen die Parabolspiegel und sorgen für deren optimale Ausrichtung.



Nach getaner Arbeit zieht es den Ingenieur aufs Meer



Steckbrief

Name: Marc Röger
Beruf: Energietechnik-Ingenieur
Werdegang: Diplomingenieur-Studium an der Uni Stuttgart und in Sevilla, Promotion am DLR und an der Uni Stuttgart, Fakultät Maschinenbau. Wissenschaftlicher Mitarbeiter, Projekt- und Teamleiter am DLR
in Almeria: seit 2005

„Es war wichtig, zu sehen, dass unsere Forschungsarbeit zu solarthermischer Stromerzeugung bei den Kraftwerksbetreibern tatsächlich nachgefragt und angewendet wird.“

Aktuell vermessen Röger und sein Team unter anderem die quadratkilometergroßen Spiegelflächen von Solarkraftwerken. Kraftwerksbetreiber können die Spiegel so ausrichten, dass sie die Sonnenstrahlen möglichst exakt auf den Receiver spiegeln. Auch die Receiver selbst nehmen die Wissenschaftler unter die Lupe und untersuchen, wie viel Wärmeenergie sie in den Kraftwerksprozess weiterleiten und wie viel sie an die Umgebung verlieren. Zusätzlich haben Röger und sein Team den Himmel im Blick: Sie untersuchen den Anteil der Sonnenstrahlen, der ein Kraftwerk tatsächlich erreicht und wie viele Strahlen durch Staub und Luftpartikel in der Atmosphäre bleiben. Dieses Know-how bringen die Wissenschaftler bei den aktuellen Planungen von Solarkraftwerken in Nordafrika und im Mittleren Osten ein. Mit dem im DLR entwickelten Unterstützungs- und Ausbildungsprogramm „enerMENA“ schulen sie in dieser Region zudem Hochschul-Professoren sowie andere Wissenschaftler und sorgen so dafür, dass ihr Wissen an Fachkräfte aus der Region weitergegeben wird.

Abstecher in eine Dienstleistungsfirma

„Ich wollte Technologien entwickeln, die unsere Energieversorgung nachhaltig machen“, so Marc Röger. Das stand für ihn schon während seiner Schulzeit fest und er entschied sich für ein Studium zum Umwelttechniker. Wissenschaft fällt ihm leicht, es liegt ihm, sich in komplexe Themen einzuarbeiten und Lösungen auch dann zu finden, wenn es kompliziert und knifflig wird. Beim Aufbau der Firma CSP Services, einer Ausgründung aus dem Institut für Solarforschung, hat Röger auch seine praktische und unternehmerische Seite entdeckt. In der Anfangszeit des Unternehmens, das sich auf Dienstleistungen und Messtechnik zur Optimierung von Solarkraftwerken spezialisiert hat, war Marc Röger vom Entwicklungsingenieur über den Programmierer und Systemadministrator bis zum Klein-LKW-Fahrer alles in

einer Person. „Das war eine sehr anstrengende Zeit, aber es war ein tolles Gefühl, als unser Mess-System zum ersten Mal an einem großen Kraftwerk lief. Und es ist gut, zu wissen, dass ein 50-Megawatt-Solarkraftwerk in Spanien dank unseres Know-how jetzt besser läuft und mehr Strom liefern kann.“

Tee unterm Sternenhimmel Ägyptens

Ein weiterer Auftrag des Unternehmens brachte Marc Röger nach Ägypten, wo die Firma ein Solarkraftwerk in der Nähe von Kairo justierte und sich ihm ganz andere Einblicke in ein Land boten, das die meisten nur als Touristen kennenlernen. „Wir haben in einer Feriensiedlung in Kairo gewohnt und saßen morgens mit den Touristen am Frühstückstisch. Danach trennten sich unsere Wege: Die anderen Gäste gingen auf Sightseeing-Tour, wir fuhren durch das Industriegebiet zu unserer Anlage 40 Kilometer in die Wüste hinein.“ Sehr genau erinnert er sich auch noch an eine Nachtschicht, die die Mitarbeiter nach einem unverschuldeten Systemabsturz kurz vor ihrem Abflug absolvieren mussten. „Die Stunden in der Nacht gingen dahin, wir haben wie verrückt gearbeitet, Festplatten gesichert und das System bis zum Morgengrauen wieder aufgebaut“, erinnert sich der Ingenieur. Irgendwann standen die Nachtwächter, Angestellte aus der Umgebung, die für die Sicherheit auf dem Gelände zuständig waren, irritiert in der Werkshalle. „Nach einer kurzen Phase der Aufregung luden sie uns zum Tee ein. Gemeinsam standen wir dann in der kalten Nacht unter einem gigantischen Sternenhimmel um ein Feuer vor den Werkshallen.“

Für Röger war der Perspektivwechsel aus der Welt der Wissenschaft in die eines Unternehmers eine elementare Erfahrung: „Es war wichtig, zu sehen, dass und auch wie unsere Forschungsarbeit tatsächlich nachgefragt und angewendet wird.“ Am Ende entschied sich Röger dennoch dafür, die Technologie in



Am Arbeitsplatz in Almería



Nach Feierabend: Windsurfen an Almerias Küste

einer Forschungseinrichtung weiterzuentwickeln und übernahm die Leitung eines Forschungsteams beim DLR in Almería. Dass sich Fortschritte und Lösungen im Wissenschaftsbetrieb manchmal nur zäh einstellen und er Ideen immer wieder überdenken und auch einmal verwerfen muss, frustriert ihn nicht. „In dieser Hinsicht bin ich ein sehr rational denkender Mensch, das schützt vor Desillusionierung.“

Wirtschaftskrise in Spanien ist überall zu spüren

Seit 2005 arbeitet Marc Röger für das DLR in Almería. Er hat den Bauboom in der Küstenstadt miterlebt und auch die Wirtschaftskrise in Spanien geht an ihm und seinen DLR-Kollegen in Almería nicht spurlos vorbei. Röger beobachtet, dass sich in den letzten Jahren weniger Menschen abends in den Bars treffen und die horrenden Wohnpreise in Almería kräftig gepurzelt sind. Viele Neubauten und Geschäfte stehen leer, weil sich keine Käufer oder Mieter finden, mehrere seiner Freunde und Bekannten haben ihre Arbeitsstelle verloren und kaum Aussicht, etwas Adäquates zu finden. „Die jetzige Situation drückt doch sehr auf die allgemeine Stimmung. Mit unserem relativ sicheren Job beim DLR kommen wir uns manchmal wie unter einer Schutzhaube vor, die uns vor unserem Umfeld in Almería behütet.“

Dennoch hat Marc Röger nach wie vor viele spanische Freunde in Almería, darunter auch viele Windsurfer. Nachdem er aus den Bergen von Tabernas wieder Richtung Küstenstadt Almería gefahren ist, prüft er auf seinem Mobiltelefon, ob immer noch die besten Windsurf-Spots diskutiert werden: „Um diese Zeit haben sich meistens alle geeinigt, wo Wind und Wellen optimal sind. Das ist ein guter Zeitpunkt, um sich auf den Weg zu machen.“ Windsurfen hat zwar nicht die erste Priorität bei Marc Röger, aber einen gewissen Ehrgeiz hat er durchaus und er ärgert sich, wenn er aufgrund von Dienstreisen länger nicht ins Meer kann und damit aus dem Training kommt. „Bei diesem Sport musst du absolut fit sein, sonst hältst du draußen auf dem Wasser nicht lange durch.“ Windsurfen, so Röger, war sicher nicht der Grund, weshalb er ursprünglich nach Almería ging, aber vielleicht einer der Gründe, warum er dort geblieben ist. ●



Weitere Informationen:
DLR.de/SF

Meilensteine der DLR-Solarforschung

- 1977: Das DLR wird mit der Koordination des Aufbaus der internationalen Demonstrationsanlage SSPS (Small Solar Power System) im spanischen Almería betraut. Diese Anlage bildet einen Teil der späteren Plataforma Solar de Almería (PSA)
- 1978: Erste Projekte auf dem Gebiet der Stromerzeugung durch konzentrierte Solarstrahlung in Stuttgart und Köln (Machbarkeitsstudien, Solarfeldauslegung)
- 1981: Die unter DLR-Koordination aufgebaute internationale Demonstrationsanlage SSPS geht in Betrieb
- 1987: Die zur PSA zusammengeführten Anlagen in Almería werden von DLR und CIEMAT gemeinsam betrieben
- 1996: Das DLR nimmt den Sonnenofen in Köln in Betrieb. An dieser Forschungsanlage werden neue Materialien und Verfahren erprobt, unter anderem wird hier die Anlage zur direkten Herstellung von Wasserstoff aus Sonnenenergie entwickelt
- 2002: Gründung der Abteilung Solarforschung im Institut für Technische Thermodynamik des DLR in Stuttgart
- 2011: Das DLR übernimmt das Solarthermische Versuchskraftwerk in Jülich und gründet das DLR-Institut für Solarforschung in Köln

Stichwort Solarkraftwerke

Solarkraftwerke, auch solarthermische Kraftwerke genannt, nutzen die Wärme der Sonne, um dann über eine Turbine Strom zu generieren. Solche Kraftwerke existieren bereits in vielen sonnenreichen Regionen, wie in Spanien, den USA und in Nordafrika. Dabei haben diese Kraftwerke den entscheidenden Vorteil, dass sie die Energie der Sonne einfach und preisgünstig in Form von Wärme speichern können. Solarkraftwerke sind damit in der Lage, Strom nach Bedarf und auch in den Abend- und Nachtstunden zu liefern, wenn die Sonne nicht mehr scheint. Im Gegensatz zu Windkraft- und Fotovoltaikanlagen können sie daher regelbaren erneuerbaren Strom erzeugen.



Die Luft- und Raumfahrt Ausstellung ist zweifellos eine der eindrucksvollsten Abteilungen des Deutschen Museums

Optik, Haptik, Technik

Seit der Gründung im Jahr 1903 hat sich das Deutsche Museum zum Ziel gesetzt, Besucher jeden Alters und Wissensstands so nah wie möglich an technische und naturwissenschaftliche Vorgänge heranzuführen. Mit dem weltweit größten Bestand an Original-Exponaten wird der Besucher stets aufs Neue ins Staunen versetzt: Ein Motorflugzeug aus der ersten Serie der Gebrüder Wright? Der erste Dieselmotor der Welt? Die Apparate, mit denen Heinrich Hertz die elektromagnetische Strahlung und ihre Gesetze fand oder der erste „Apple Macintosh 512 K Personal Computer“? – Hier kann man alles sehen. Mehr noch: Das Deutsche Museum in München kombiniert museale Kernelemente mit interaktiver Wissensvermittlung. So soll der Weg von Naturwissenschaft und Technik von den Ursprüngen bis in die Gegenwart gezeigt werden. Doch auch Zukunftsideen wird Raum gegeben.

Ein Rundgang durch das Deutsche Museum in München

Von Miriam Kamin und Alexander Schwaiger

Das Deutsche Museum, eigentlich „Deutsches Museum von Meisterwerken der Naturwissenschaft und Technik“, begeistert seit jeher seine Besucher nicht nur mit der schieren Menge an Exponaten, sondern auch mit seinem unkonventionellen Ansatz: Es ist ausdrücklich erlaubt, ja sogar erwünscht, Gegenstände zu berühren und Experimente selbst zu erproben, es darf fotografiert, gelacht und gestaunt werden. Genauso beschrieb das Museum auch von Anfang an seinen Auftrag, dem es bis heute treu geblieben ist: „Didaktisch ist Oskar von Millers Museumskonzept völlig neu: Er verbindet die Volksbildung mit der Volksbelustigung. Das Museum soll für alle Volksschichten etwas bieten und Technik und Naturwissenschaft zum Gemeingut der Gesamtgesellschaft machen. Miller möchte ein technisches Museum zum Anfassen, ein Museum, das Spaß macht!“

Acht Tonnen schwer. Kleiner als ein Bakterium. 700 Meter lang.

Das Staunen beginnt schon, bevor man das erste Exponat zu sehen bekommt. Das Deutsche Museum mit seinen mehr als 50.000 Quadratmeter Fläche, auf denen unzählige Exponate stehen, ruht auf mehr als 1.500 Pfählen, die bis zu sieben Meter tief in den Grund der Münchener Museumsinsel gerammt wurden. Doch es geht noch tiefer: Elf Meter unter dem Museum wurde ein Anschauungsbergwerk eingerichtet, das über einen 700 Meter langen Rundweg bergmännische Technik vom 16. Jahrhundert bis in die heutige Zeit zur Schau stellt. Hier wird es deutlich kälter, enger und vor allem dunkel: In dieser Umgebung spürt man am eigenen Leib, welchen Strapazen die Menschen beim Erz-, Salz- und Kohlebergbau ausgesetzt waren.

In der Ausstellung „Nano- und Biotechnologie“ werden hingegen Dinge gezeigt, die für das menschliche Auge nicht zu erkennen sind. Mit Hilfe der Rastertunnelmikroskopie kann der Besucher dennoch den Geheimnissen des Nanokosmos auf die Spur kommen. So lässt sich beispielsweise messen, wie stark ein Granitblock vom Gewicht eines Menschen eingedrückt werden



Mensch und Maschine mit Weitblick: Apple-Gründer Steve Jobs (links) im Mai 1985 vor dem ersten funktionsfähigen Rechenautomaten der Welt, dem „Z3“ von Konrad Zuse – ein entscheidender Vorläufer des Computers; neben ihm Dr. Otto Mayr (damaliger Generaldirektor des Deutschen Museums) und ganz rechts Ralf Deja (Geschäftsführer der Apple Computer GmbH München)

Oskar Miller

Der bayerische Bauingenieur Oskar Miller (1855-1935) wurde als Wasserkraft- und Elektrotechnikpionier bekannt. 1903 erfüllte er sich seinen Traum eines naturwissenschaftlich und technisch ausgerichteten Museums: Das Deutsche Museum München entstand.



Blick auf das Deutsche Museum in München



220.000 Volt und kein bisschen leise: Starkstromversuch mit dem Faradayschen Käfig



Faszinierende Beweisführung: Das Foucaultsche Pendel veranschaulicht die Erdrotation

Am Puls der Zeit

Das DLR-Magazin im Gespräch mit Dr. Matthias Knopp, Leiter der Hauptabteilung Luftfahrt, Raumfahrt und Schifffahrt des Deutschen Museums

Wie hat sich das Interesse an den Luft- und Raumfahrtsausstellungen im Deutschen Museum in den letzten Jahren entwickelt?

Sowohl auf der Museumsinsel in München als auch in unserer Zweigstelle in Oberschleißheim erfreuen sie sich nach wie vor größter Beliebtheit. In der Flugwerft Schleißheim haben wir seit der Eröffnung im September 1992 jedes Jahr über 100.000 Besucher. Von den Besuchern unseres Haupthauses auf der Museumsinsel in München wissen wir aus Umfragen, dass über die Jahre stabil 80 bis 90 Prozent von ihnen die Luft- und Raumfahrtsausstellungen besichtigen. Mit über 16.000 Quadratmetern ist dieser Bereich auch unser flächenmäßig größter.

Wie lange arbeitet das Deutsche Museum schon mit dem DLR zusammen?

Schon seit Jahrzehnten, man müsste sich wundern, wenn es nicht so wäre. In Sachen Luft- und Raumfahrt ist die in Deutschland zentrale Großforschungseinrichtung unser wichtigster Partner, nicht nur in technischen und naturwissenschaftlichen Fragen, sondern auch im technikhistorischen Bereich. Neben der Zusammenarbeit in den Gremien des Deutschen Museums, wie Kuratorium, Wissenschaftlicher Beirat, Freundes- und Förderkreis, arbeiten wir direkt mit Wissenschaftlern des DLR zusammen. Das geht von Bildungsveranstaltungen unseres Kerschensteiner Kollegs bis hin zum Flugbetrieb des DLR, der uns regelmäßig bei unserer Fly-In-Veranstaltung in Oberschleißheim unterstützt. Besonders schätzen wir die Rolle des DLR als Stifter von Exponaten. Das im letzten Jahr außer Dienst gestellte DLR-Forschungsflugzeug ATTAS ist das aktuellste Beispiel.

Gibt es auch gemeinsame Veranstaltungen?

Ja, viele. So haben wir zusammen mit dem DLR 2012 in unserem Zweigmuseum in Bonn die DLR-Ausstellung „Roboter – unsere Wegbereiter ins Weltall“ gezeigt. In München hatten wir 2005 die Sonderausstellung über die Sonde Mars-Express mit fantastischen 3-D-Aufnahmen. Oft sind auch DLR-Wissenschaftler in unserer Vortragsreihe „Wissenschaft für jedermann“ zu Gast. Das zweijährige Betriebsjubiläum des Columbus-Welt-raumlabs feierten wir gemeinsam mit dem DLR und der ESA. Und auch über zukünftige Projekte sprechen wir, beispielsweise eine Sonderausstellung zum Satelliten-Projekt TanDEM-X.

Was erwartet den Besucher im Ausstellungsbereich „Raumfahrt“ in Zukunft?

Die Raumfahrt nimmt nur etwa 1.000 Quadratmeter ein. Mehr dauerhafte Ausstellungsfläche wird leider auch künftig nicht zur Verfügung stehen. Großexponate wie das SPACELAB oder die EUROPA-Rakete sind daher in anderen Bereichen ausgestellt. Doch eine geplante Sanierung dieses Bereichs werden wir zum Anlass für Aktualisierungen nehmen, um am Puls der Zeit zu bleiben. Vor allem zum Bereich Satellitentechnik sollen hier Demonstrationen und Hands-on-Experimente Einzug halten. Gerne würden wir auch mehr zum aufregenden Thema Planetenforschung mit Robotern machen.

kann: nämlich um 54 Nanometer – das sind 0,000054 Millimeter. Auch sonst sind Gegensatz und Vielfalt die markantesten Merkmale des Museums. Wie selbstverständlich steht da etwa eine ganze Rumpfsktion eines Airbus A300-Großraumflugzeugs inklusive Tragflächen und Triebwerk, während nur ein paar Hallen weiter filigrane Musikinstrumente aus verschiedenen Jahrhunderten ein Zeugnis großartiger Handwerkskunst ablegen. Ein Kuriosum in der Abteilung Musikinstrumente ist das „Siemens-Tonstudio für elektronische Musik“: Auch vor dem Zeitalter der Heimcomputer sollten schließlich Telefone, Ladensassen und andere Alltagsgegenstände bestimmte Töne von sich geben. 1960 konnten deshalb mit dieser Apparatur und mit Hilfe von gestanzten Papierstreifen als Datenträger neue, „noch nie gehörte Klänge entstehen und zu neuen ästhetischen Erfahrungen führen“ – so zumindest die damalige Wahrnehmung.

Unendliche Weiten. Unendlich viele Lösungen. Zeit, sich zu erholen.

Im hauseigenen Planetarium, dem ersten Projektionsplanetarium der Welt, lässt sich das Weltall erkunden. Sternbilder, Galaxien und Planeten breiten sich über den Köpfen der Besucher aus. Dem Zeitraffer sei Dank lässt sich hier eine ganze Sternen-Nacht in knapp eineinhalb Minuten erleben. Danach kann man sich wieder irdischen Themen widmen: mit Hilfe des Foucaultschen Pendels der Erde beim Drehen zusehen oder im mathematischen Kabinett seine Kenntnisse über Algebra, Analysis und Co. auf den Prüfstand stellen. Denjenigen, der sich nun nach einer Pause sehnt, lädt der Sonnenuhengarten im 6. Obergeschoss zum Verweilen ein. Für echte Zukunftsvisionen ist hier ein Orakel zur Stelle, das zu so futuristischen Themen wie Unsterblichkeit, Gedächtnis-Chip, perfektes Recycling, Kind nach Maß, künstliches Leben oder intelligente Umwelt Rede und Antwort steht.

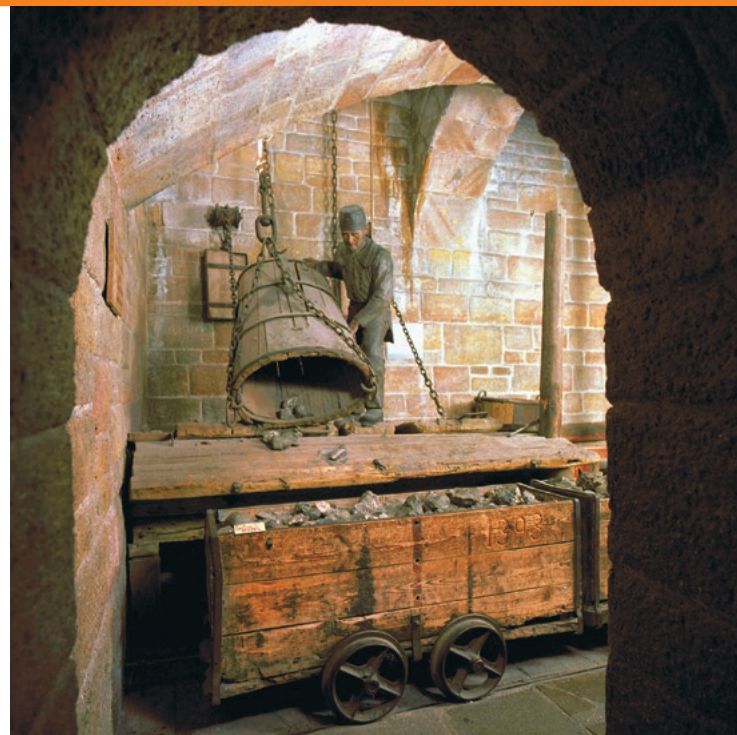
Im Kinderreich sind die Nachwuchsforscher bei ausgewählten Touren, Workshops oder dem Experimentier- und Kulturtreff gut aufgehoben. Vor der enormen Lautstärke des Faradayschen Käfigs sollte man allerdings nicht nur Kinderohren schützen. Bei Vorführungen wagt sich ein Museumsmitarbeiter in die Drahtgitterkugel. Da der Innenraum durch eine geschlossene Hülle aus leitfähigem Material vor äußeren elektrischen Feldern und elektromagnetischen Wellen abgeschirmt ist, passiert der Versuchsperson auch dann nichts, wenn an die Drahtgitterkugel eine Spannung von etwa 220.000 Volt angelegt wird. Besuchern des Museums ist dieses Experiment allerdings aus versicherungstechnischen Gründen nicht gestattet – obwohl der Platz dort oben wohl der sicherste in ganz München sein dürfte.

Menschheitsträume. Höhenflüge. Visionen.

Die Begeisterung für das Fliegen ist immer noch ungebrochen und die Exponate in der Luftfahrthalle des Deutschen Museums zählen zu den am meisten besuchten. Für Luftfahrt-enthusiasten führt an dieser Ausstellung sowieso kein Weg vorbei. Nicht jedes Museum hat schließlich eine begehbare Junkers Ju 52 im Repertoire oder ein Original der Flüssigkeitsrakete V2 aus der Zeit des Zweiten Weltkriegs. Vom Gleiter Otto Lilienthals bis hin zum Querschnitt eines Großraumflugzeugs sieht sich der Besucher hier also einem geschichtlichen Abriss aus Blech und Metall gegenüber, dessen Faszination man sich nur schwer entziehen kann. Noch höher hinaus geht es mit dem Ausstellungsbereich Raumfahrt. Das Deutsche Museum hat hierzu gleich mehrere Highlights auf Lager, etwa die imposante Sammlung von Raumanzügen oder die reinen Zahlen des leistungsstärksten Exponats im Deutschen Museum: Mit einer Leistung von drei Millionen Kilowatt sorgt die VULCAIN-Schubkammer auf dem Weltraumbahnhof Kourou in Französisch-Guyana dafür, dass die europäische Weltraumträgerrakete Ariane abhebt.

Ein Besuch im Deutschen Museum ist also unbedingt zu empfehlen. Einziger Wermutstropfen: Die eine oder andere Abteilung könnte wegen Neugestaltung geschlossen sein. Wer also schon im Voraus sein Auge auf ein bestimmtes Themengebiet geworfen hat, sollte sich kurz auf der Homepage des Museums informieren. Und vor allem: genügend Zeit einplanen. Bei einem Museum dieses Ausmaßes ist ein gewisses Organisationstalent gefragt.

Unser Insider-Tipp: Das geballte Wissen des Deutschen Museums erleben – in zwei Stunden? Wer bereit ist für einen Schnelldurchgang durch alle Abteilungen, der bucht eine Gruppenführung beispielsweise bei einem ehemaligen Piloten, der einen mit auf eine Reise durch das Deutsche Museum nimmt. Und: Wer vor seinem Besuch eine Führung bucht, vermeidet die Schlangen vor den Kassen des Münchener Publikumsmagneten.



Elf Meter unter der Erde: Bergbaustrapazen werden nacherlebbar



Bis ins kleinste Detail: Die Ausstellung Nano- und Biotechnologie

Deutsches Museum von Meisterwerken der Naturwissenschaft und Technik

Öffnungszeiten:

Täglich von 9 bis 17 Uhr (Deutsches Museum, Flugwerft Schleißheim und Verkehrszentrum)

Museumsinsel 1
80538 München
Telefon: (089) 2179-1
Telefax: (089) 2179-324

Eintritt:

Für Besucher ab 16 Jahre: 8,50 Euro. Ermäßigt: 3,00 Euro. Kombiticket für Museumsinsel, Flugwerft und Verkehrszentrum: 15,00 Euro

Flugzeugballett für einen extravaganten Neuzugang – Flugwerft Schleißheim um eine Attraktion reicher

Herzlich willkommen ATTAS, hieß es am 7. Dezember 2012 in Schleißheim. Das DLR stiftete das Forschungsflugzeug ATTAS (Advanced Technologies Testing Aircraft System) dem Deutschen Museum. Erfahrene Restauratoren präparierten das Forschungsflugzeug für die Ausstellung in der neuen Flugzeughalle. Am 15. Oktober 2013 wurde ATTAS offiziell an seinen neuen Eigentümer übergeben.

Gespräch mit dem Leiter der Flugwerft Schleißheim, Gerhard Filchner – von Miriam Kamin

Herr Filchner, Sie leiten die Flugwerft Schleißheim seit den Anfängen im Jahr 1992. Was bedeutet es für ein Luftfahrtmuseum, wenn es „Zuwachs“ bekommt?

Arbeit! Das beginnt schon beim Transport. Meistens werden die Flugzeuge zerlegt, da sie keine Flugzulassung mehr haben oder unsere Landebahn mit ihren 800 Metern zu kurz ist. Dann werden die Einzelteile mit Schwertransportern angeliefert, was auf den Straßen unserer idyllischen Umgebung ein echtes Abenteuer ist. Vor Ort bauen wir die Teile dann wieder zusammen. ATTAS hatte eine Flugzulassung. Das war perfekt. Dafür war die Größe des wissenschaftlich genutzten Verkehrsflugzeugs eine echte Herausforderung: Das Leitwerk von ATTAS ist mit knapp acht Metern sehr hoch, das Hallentor ist mit sieben Metern zu niedrig. Deshalb haben wir die Nase mit einem Hydraulikheber sanft angehoben, um das Leitwerk abzusenken. Da hält man kurz mal die Luft an!

Wie hat ATTAS nun seinen Platz gefunden?

Mit den ersten Gesprächen im Jahr 2007 begann auch schon die Planung: Wo platziert man das Exponat thematisch sinnvoll in einem bestehenden Museum? Mit realen Modellen und Computersimulationen planten wir die Integration in die Halle. Wie alle Exponate soll ATTAS eine didaktische Einheit mit den in der Nähe stehenden Exponaten bilden. Damit beginnt das Flugzeugballett: Zwei Flugzeuge wurden in eine andere Abteilung bewegt, wo wiederum zwei weitere Flugzeuge weichen mussten. Ein Museum mit Gemälden hat es da etwas einfacher. ATTAS' Nachbarn sind nun der Prototyp des Eurofighters und eine Rockwell/MBB X-31, eine US-amerikanisch-deutsche Koproduktion. Beide sind wie ATTAS Test- und Experimentalflugzeuge.

Wie wird aus einem Flugzeug nun ein Museumsexponat?

Mit der Ankunft bei uns begannen wir, ATTAS an seine neue Aufgabe als Museumsexponat anzupassen. Solange ein Objekt in der Flugzeug-Werkstatt vorbereitet wird, können die Besucher von einer Galerie aus den Restauratoren zusehen. Zuerst wird das Flugzeug bis ins Detail von Öl und Schmutz befreit. Eine Politur dient als Schutzschicht. Aber es wird nichts am Originalerscheinungsbild verändert. Bei ATTAS sind sogar noch die Unterschriften der beiden DLR-Piloten, des Testfliegenieurs und der Bordmechanikerin außen vorne am Flugzeug zu sehen. Alle Kampagnen-Logos und auch Gebrauchsspuren sind sichtbar. Schließlich sind alle Flugzeuge einmal geflogen und das soll man auch sehen.

Wird ATTAS mehr bieten als die bloße Außenansicht?

Ja. Bei ATTAS wurden die Triebwerke geöffnet. Die Tragflächen sind ebenfalls teilweise geöffnet und mit Kunststoff verkleidet worden, um die für ATTAS beispielhafte Fly-By-Wire Steuerung oder auch die Landeklappenführung sichtbar zu machen. Anhand von Schautafeln wird die Entstehungsgeschichte und die Nutzung von ATTAS in Deutsch und Englisch kurz und knapp beschrieben und durch einen Film vertieft.

Ab wann können Besucher einen Blick in das Flugzeug werfen und was werden sie sehen?

ATTAS bekommt noch Treppen angebaut, die vorne durch die Tür hineinführen, wo man ins Cockpit schauen kann, und auf der anderen Seite hinten wieder hinausführen. Glasscheiben im Innenraum schützen vor Abnutzung, geben aber den Blick auf die Testeinbauten frei. Auch die Bodenverkleidung wird teilweise herausgenommen, um den Besuchern die Technik, Steuerleitungen und Tanks zu zeigen. Ab Ende des Jahres wird sich der Museumsbesucher dann das ehemalige Forschungsflugzeug von innen ansehen können. ●



Weitere Informationen:
Deutsches Museum:
www.deutsches-museum.de



Flugwerft Schleißheim:
www.deutsches-museum.de/flugwerft

DLR Braunschweig:
DLR.de/Braunschweig

DLR Oberpfaffenhofen:
DLR.de/Oberpfaffenhofen

Video vom Überführungsflug von ATTAS nach Oberschleißheim:
www.deutsches-museum.de/flugwerft/sammlungen/strahlflugzeuge/vfw-614-attas/film/



Eindrucksvoll: Die Flugwerft Schleißheim bei Nacht. 1992 wurde die Flugwerft Schleißheim auf einem der ältesten erhaltenen Flugplätze Deutschlands eröffnet. Auf einer Fläche von 7.800 Quadratmetern erwarten rund 60 Flugzeuge und Hubschrauber, zahlreiche Hängegleiter, Flugmotoren und Flugsimulatoren die Besucher. In der gläsernen Halle ist auch die Restaurierungswerkstatt untergebracht. Der Flugplatz wird darüber hinaus von sechs Luftsportvereinen und der Fliegerstaffel der Bundespolizei genutzt.



Blick in die historische Werfthalle



ATTAS im Landeanflug auf Schleißheim



Blick aus dem ATTAS-Cockpit auf das Rollfeld vor der Flugwerft

Luftfahrtfans aufgepasst!

8.000 Quadratmeter Ausstellungsfläche, circa 1,5 Millionen Besucher pro Jahr, allein über 50 Originalflugzeuge – das Deutsche Museum in der Münchener Innenstadt hat für das luftfahrtbegeisterte Publikum schon einiges zu bieten. Dabei warten auf den Luftfahrtfan in Schleißheim noch viele weitere Exponate. Das Deutsche Museum zeigt einen wichtigen Teil seiner Luftfahrtsammlung an einem historischen Ort: auf dem Flugplatz Schleißheim. Im Norden Münchens wurden der Flugplatz und seine historischen Bauten zwischen 1912 und 1919 für die Königlich-Bayerischen Fliegertruppen errichtet. Anfang der Neunzigerjahre erfolgte die Restauration der historischen Werfthalle und es kamen eine moderne Ausstellungshalle sowie eine Restaurierungswerkstatt hinzu.

Deutsches Museum

Flugwerft Schleißheim
Effnerstraße 18
85764 Oberschleißheim
Telefon: (089) 315 714 10
Telefax: (089) 315 714 50

Öffnungszeiten:

Täglich von 9 bis 17 Uhr (Deutsches Museum, Flugwerft Schleißheim und Verkehrszentrum)

Eintritt:

Tageskarte für Besucher ab 16 Jahre 6,00 Euro

Kombiticket für Museumsinsel, Flugwerft und Verkehrszentrum (Besuch auch an getrennten Tagen möglich) 15,00 Euro

Familienkarte 12,00 Euro

Familienkarte
(für Inhaber des Münchener Familienpasses) 9,00 Euro

Der Mars als Archiv

Von Anfang an hat der Mars sich als schwieriger Kandidat erwiesen – etliche Sonden, die den Roten Planeten aus der Nähe erkunden sollten, scheiterten. Den Forscherdrang hat das allerdings nie gebremst. Prof. Dr. Ralf Jaumann und Ulrich Köhler vom Institut für Planetenforschung des DLR haben die Geschichte der Marserkundung und deren Ergebnisse in dem großformatigen Buch „Der Mars – Ein Planet voller Rätsel“ (Edition Fackelträger) zusammengefasst – mit wissenschaftlichen Fakten, zahlreichen Geschichten und vielen spektakulären Marsbildern.

Interview mit Ralf Jaumann über den rätselhaften Planeten

Von Manuela Braun



Fast 300 Seiten über den Mars – Herr Professor Jaumann, was fasziniert Sie so an dem Planeten?

Der Mars kommt der Erde geologisch sehr, sehr nahe. Er zeigt zum Beispiel eine ausgeprägte Oberflächendynamik. Die Veränderungsprozesse vollziehen sich dabei vor allem durch Wasser und Eis. Aber anders als die Oberfläche der Erde ist die Marskruste teilweise sehr alt. Auf der Erde wird die Kruste nämlich durch plattentektonische Prozesse immer wieder ins Innere versenkt, aufgeschmolzen, um dann als Lava wieder an die Oberfläche zu gelangen und zu erstarren. Dabei geht allerdings die im Krustengestein gespeicherte Information über die geologische Entwicklung, über Klima und Leben verloren. Nicht so auf dem Mars: Dort gibt es keine Plattentektonik und wir können auf der Oberfläche weit in die Vergangenheit unseres Sonnensystems zurückblicken. Stoff genug also für ein Buch über den Mars.

Die ersten Nahaufnahmen vom Mars erreichten 1965 die Erde – heute kreist die Mars-Express-Sonde mit ihrer Kamera kontinuierlich um den Roten Planeten und auf seiner Oberfläche fährt der Marsrover Curiosity. Was sind die wichtigsten Erkenntnisse, die in diesen Jahrzehnten mit den verschiedenen Missionen gewonnen wurden?

Nachdem die ersten Daten vom Mars vorlagen, dachte man, der frühe Mars habe ein sehr feuchtes und warmes Klima gehabt, mit sehr viel Wasser auf der Oberfläche. In den letzten zehn Jahren mussten wir das Bild vom Mars revidieren. Heute wissen wir: Der Mars war immer ein karger Wüstenplanet und

die klimatischen Bedingungen waren eher arktisch kalt. Nichtsdestoweniger hat Wasser in der Marsgeschichte eine bedeutende Rolle gespielt, aber es hat wohl mehr geschneit als geregnet. Schließlich wurde es immer kälter und Wasser trat auf der Oberfläche nur noch als Eis in Erscheinung. Wir sehen aber sehr viele durch abfließende Wassermassen entstandene Flusstäler, die zeigen, dass es immer wieder Klimaänderungen gab, die Eis zum Schmelzen brachten oder dass vulkanische Wärme das Bodeneis taut. Die Konzentration hauptsächlich an Schwefelsalzen nahm zu, der Mars wurde buchstäblich sauer. Mit der Zeit haben wir hinzugelernt. Sicher ist heute, dass der Mars wohl zu keinem Zeitpunkt so etwas wie eine zweite Erde war.

Wenn Planetenforschung ein Wunschkonzert wäre: Was würden Sie gern über den Mars erfahren?

Ich hätte da gleich zwei Wünsche. Ich wüsste zum einen gerne, was genau auf dem Mars vor etwa 3,7 Milliarden Jahren passiert ist, als es zu einer gewaltigen Klimawende kam, das Wasser auf der Oberfläche immer weniger wurde und das Klimamillieu von neutral nach sauer umschlug. Und mein zweiter Wunsch? – Ich würde gerne eine Antwort auf eine ganz entscheidende Frage finden: Konnte trotz der widrigen Bedingungen Leben entstehen, wo finden wir es und wie weit hat es sich entwickelt? ●



Weitere Informationen:
bit.ly/1d3AHlQ



Das Buch

- 288 Seiten
- circa 300 Farabbildungen
- inklusive interaktiver DVD mit Marsflugsimulation und 3-D-Brille
- Erscheinungstermin Oktober 2013

Das Team

Neben Ralf Jaumann, Principal Investigator der Stereokamera HRSC auf der Mars-Express-Mission der ESA, und Ulrich Köhler arbeiteten die Kolleginnen und Kollegen des Mars-Express-HRSC-Experiment-Teams sowie Susanne Pieth von der NASA/DLR Regional and Planetary Image Facility im DLR-Institut für Planetenforschung am Buch mit.

Rezensionen

Geisterstimmen aus dem Off

Kurt Gödel schweigt. Seine Begründung: „Es ist zu viel Meinung in der Welt.“ Als er das sagt, ist Gödel jung und in Wien. Noch ist er nicht am Institute for Advanced Study. Noch ist Kurt Gödel, der später zu den berühmtesten Mathematikern und Logikern des 20. Jahrhunderts zählen wird, nicht in Princeton. Gödel ist Teilnehmer des Mathematischen Kolloquiums im berühmten Wiener Kreis: und schweigt. Und ist tot. Ihn würde das nicht wundern: gleichzeitig zu sein – und nicht mehr zu sein. Kurt Gödel hält sich ja auch schon für verheiratet, mit einer, wohlge-merkt, künftigen Braut, die er ... gerade erst kennenlernt. Die spätere Adele Gödel sollte Kurt Gödels seelische Retterin werden. Und Gödel ein Wissenschaftler, der Zeitreisen für möglich hält. Jedenfalls in der Theorie.

„Dem Wahnsinnigen hilft keine Logik“. Das lässt Daniel Kehlmann den toten Gödel im Theaterstück **Geister in Princeton** sagen. In der stimmungs- und klangvollen Hörspielfassung (**Argon Verlag; Produktion: NDR, ORF**) geschieht dabei vieles aus der Rückschau. Gödel ist tot, spricht aber durchweg aus dem Off; geniale Geister – durchaus doppeldeutig gemeint – finden sich zu seinem Begräbnis ein. Damit lebt alles auf: Gödels Genie. Seine paranoide Angst vor Geistern. Sein Umfeld: Wittgenstein, Hilbert in Wien. Einstein, John von Neumann, Oswald Veblen und viele andere in den USA. Kehlmann kümmert sich allerdings kaum um Gödels Forschung. Leider. Die Chance, Gödels Unvollständigkeitssätze verständlich in eine Dramaturgie einzuführen, wird hinter der Schilderung des Privaten vertan. Das ist umso betrüblicher, als gerade Gödel über die mathematische Fachwelt hinaus bin hin zur Wissenschaftstheorie und zur Philosophie immer wieder rezipiert und zitiert wird (besonders auch im Kult-buch „Gödel, Escher, Bach“ von Douglas R. Hofstadter).

Sicher: Allein die Schilderung der Beziehung zu seiner aufopferungsvollen Frau Adele ist das Zuhören wert, hat sie es doch mit einem der skurrilsten Menschen zu tun, die es damals



in der Wissenschaft gab. Jede Speise muss sie für ihren Mann vorkosten, der mehr und mehr befürchtet, vergiftet zu werden. Dennoch sollte Kurt Gödel 1978 an Auszehrung sterben, er wog kaum noch 40 Kilogramm. Auch die Klangebene (Komposition: Martina Eisenreich) ist es wert, dieses Hörspiel auf sich wirken zu lassen. Die Musik führt den Hörer fast wie ein Sog in die fern wirkende Zeit der Dreißigerjahre des vergangenen Jahrhunderts und in noch ferner liegende Denkwelten eines mathematischen Genies und Sonderlings. Diesem Sonderling gilt die ganze Auf-merksamkeit des Autors. So lässt er Gödel in Gedanken von einem Kind begleiten, ein Kind, das nicht nur er selbst ist, sondern das ewig Kindliche in ihm zu sein scheint. Im Hörspiel bekommt dies etwas Traumartiges. Das ist wehmütig, traurig, beinahe engelhaft. Aber auch hart am Rand zum Kitsch.

Peter Zarth



Vom Labor in die Zukunft

Physiker Michio Kaku lehnt sich in seinem Vorwort zu **Die Physik der Zukunft – Unser Leben in 100 Jahren (Rowohlt)** weit aus dem Fenster: Er wolle einen Einblick aus der Sicht eines Insiders geben, der mit 300 der weltweit bekanntesten Wissenschaftler gesprochen hat und in ihre heiligen Labore Einlass erhielt. Dann stellt er sich auch noch unbescheiden in eine Reihe mit Jules Vernes und Leonardo da Vinci, die mit ihren Visionen oftmals Recht hatten. Kaku geht also schon mit großem Selbstbewusstsein an die selbstgestellte Aufgabe heran: nämlich nichts Geringeres zu tun, als die Zukunft vorherzusagen. Kapitelweise schreibt sich Kaku auf 600 Seiten durch die Zukunft des Computers, der Künstlichen Intelligenz, der Medizin, der Nanotechnologie, der Energie, der Raumfahrt, des Wohlstands und der Menschheit – eingeteilt in die Unterkategorien „Die nahe Zukunft (Gegenwart bis 2030)“, „Mitte des Jahrhunderts (2030 bis 2070)“ und „Die ferne Zukunft (2070 bis 2100)“. Das mag zwar alles subjektiver sein, als Kaku selbst glaubt, macht aber dennoch Spaß, es zu lesen.

Von vielem hat man schon einmal gehört, hier findet aber alles eine Ver-ortung im Gesamtzusammenhang. Geschickt verknüpft der Autor seine eigenen Ansichten und Vorstellungen mit Parts, in denen es um die Forschung einzelner Wissenschaftler geht. Er galoppiert fast durch die Themen, die vom Roboter mit Gefühl, von der Umkehrung des Alterungsprozesses, permanenten Mondbasen, flexiblen elektronischem Papier über das „Mighty Mouse“-Gen, die Fusion in einem Magnetfeld bis hin zum Post-Silizium-Zeitalter reichen. Manchmal ist Vor-wissen des Lesers gefordert, denn Michio Kaku erklärt seine Themen nicht immer von Grund auf. Information drängt sich an Information. Das ist aber verzeihbar, denn dafür schreibt der Physiker angenehm lesbar und hat Spannendes zusam-mengesucht für sein Werk. Wer sich Zeit für die Physik der Zukunft nimmt, hat nach den 600 Seiten den Kopf voll mit neuen Ideen – und einen Eindruck davon, wie Forschung im Labor von heute unsere Zukunft prägen wird.

Manuela Braun

Genie mit Hindernissen

Genial gescheitert – das sind viele Erfinder an ihren grandiosen Ideen. Sie waren ihrer Zeit voraus, konnten ihre Theorien nicht beweisen und wurden infolgedessen verspottet oder gar für irre erklärt. Dennoch hielten die Wissenschaftler mit viel Leidenschaft an ihren Ideen fest und gelten heute, da sich ihre Theorien bestätigt haben, als Pioniere.

Der Diplomphysiker und Wissenschaftsjournalist Thomas Bührke porträtiert in seiner bei **dtv** erschienenen Sammlung neun dieser zu Lebzeiten verkannten Erfinder und erklärt dabei anschaulich die teilweise komplizierten physikalischen Konzepte und Ideen der Wissenschaftler (man denke nur an die berühmte Relativitätstheorie Albert Einsteins). Zu Beginn jedes Kapitels beschreibt der Autor den Protagonisten in einer Szene aus seinem historischen Umfeld und erweckt ihn so zum Leben. Gleich-zeitig stellt er dessen Idee oder Theorie vor. Es folgt die ausführliche Biografie des Er-finders, aus welcher der Leser Details erfährt und über Widerstände ins Bild gesetzt wird, die der Anerkennung als Genie entgegenstanden. Vieles mag einem bekannt vorkommen, manche Fakten sind neu und umso interessanter, beispielsweise der Umstand, dass Otto Lilienthal seine Flugversuche in den ersten Jahren nur nachts durchführte, um nicht zum Gespött zu werden ...

Das Buch ist nicht nur als gelungene Bettlektüre und als Stoff für Smalltalk zu empfehlen, es ist auch ein subtiler Aufruf dazu, mit Leidenschaft für die eigenen Pro-jekte und Ideen einzustehen und im Falle von Widerständen nicht gleich die Flinte ins Korn zu werfen.

Teresa Lüttenberg



Der größte Wildbach Europas

An seinem Ursprung steht ein Leuchtturm. An seiner Mündung wird er eins mit dem Meer: der Rhein. Im Gotthardmassiv entspringt der „größte Wildbach Europas“, wie das Autoren-team den Strom in seinem Film **Der Rhein von oben (Produktion: vidicom/arte/wdr)** nennt. Von den Quellen des Hinter- und Vorderrheins verfolgen wir in bestechender Qua-lität (Luftbilder mit der Spezialkamera Cineflex) nicht nur den Verlauf einer Wasser- und Schifffahrtslinie. Vidicom ist darauf spezialisiert, ihre herausragenden Luftbildproduktionen immer mit dem zu verbinden, was den Menschen am meisten interessiert: Geschichten von Menschen. Wir lernen viel in diesem Film, der Natur und Wirtschaft, Menschen und Technik, Wasser und Land so elegant aufzeigt und verbindet, dass wir am Ende beinahe vergessen, worum es hier geht: die große Lebensader Europas. „Er ist ein gewaltiger Strom, den man achten muss“, bringt einer der selten gewordenen Fischer den Respekt und die Achtung vor diesem viel besungenen und mit diesem Film nun auch grandios aus der Luft dokumentierten Fluss zum Ausdruck. Das WDR Fernsehen zeigt ihn in fünf Teilen ab 6. Dezember 2013 im Wochenrhythmus jeweils freitags, 20:15 Uhr. Die DVD erscheint im Januar 2014.

Peter Zarth

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 7.700 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, Diana Gonzalez, Bernadette Jung, Sarah Lange, Teresa Lüttenberg, Miriam Kamin, Alexander Schwaiger, Jens Wucherpfennig sowie Peter Zarth

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



Druck: Druckerei Thierbach,
45478 Mülheim an der Ruhr

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

ISSN 2190-0094

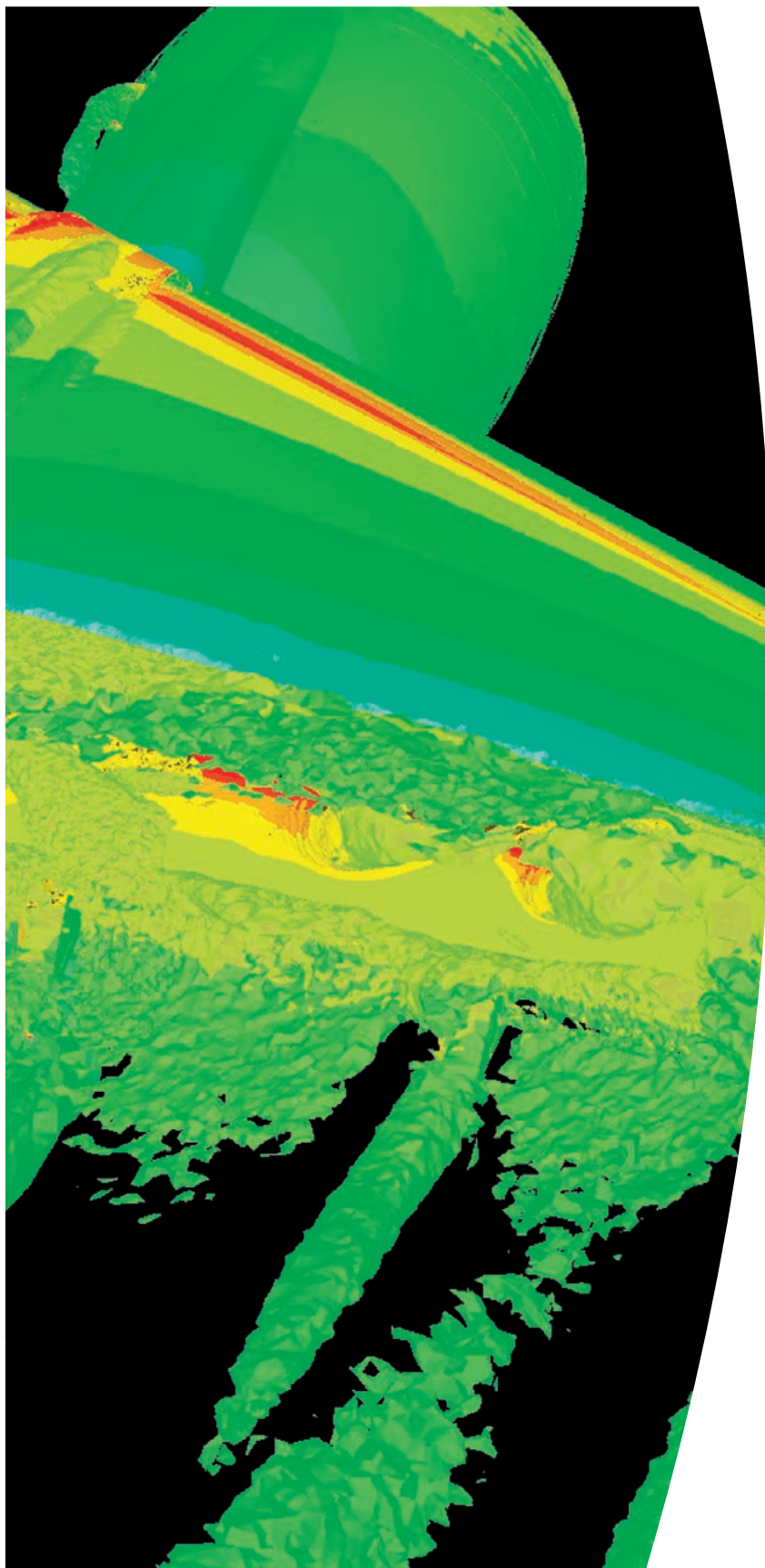
Onlinebestellung:
DLR.de/magazin-abo



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.



**Deutsches Zentrum
DLR für Luft- und Raumfahrt**