



Das Magazin des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt · DLR.de · Nr. 144 · Dezember 2014

magazin

Erst mit den Technikern läuft's rund

Triebwerksschaufeln im Test

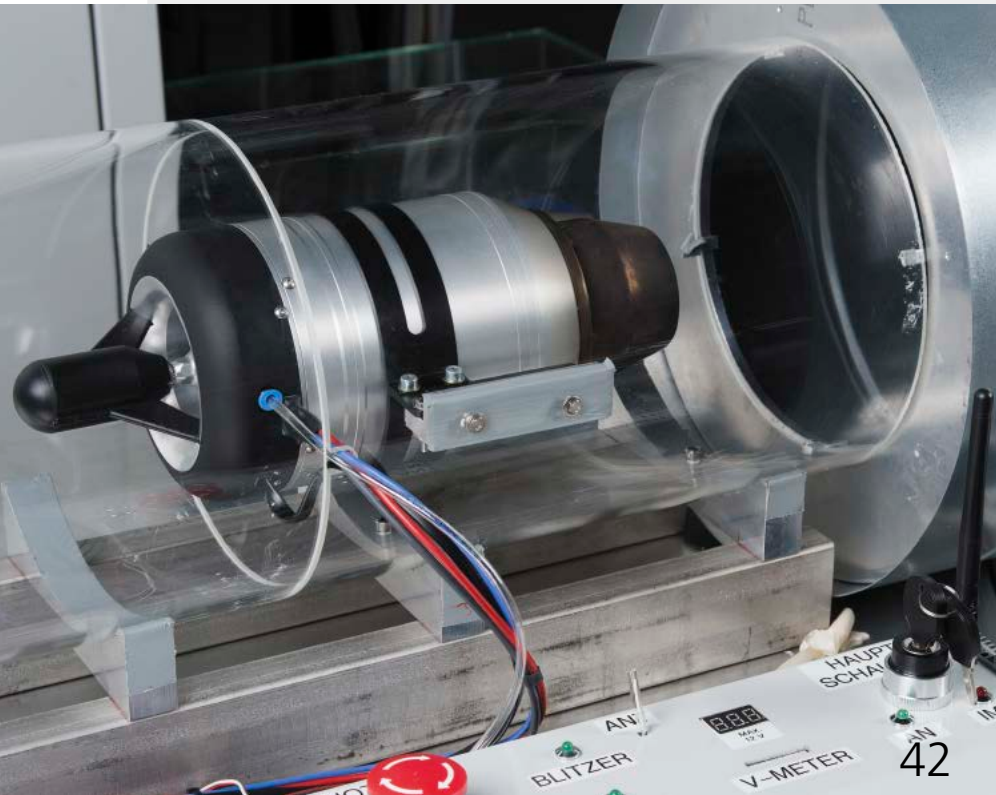
Mehr als Sonne, Mond und Sterne

Ausstellungsgespräch zu „Outer Space“ in Bonn

Mission Flugversuch

40 Jahre Erprobungsflüge in Manching

DLR magazin144



Techniker testen Triebwerksschaufeln

Das Berufsbild des Technikers im DLR entzieht sich der Routine. Jedes Projekt hat seine Eigenheiten. An diesem brandneuen Prüfstand des Instituts für Werkstoff-Forschung testen DLR-Techniker Turbinenräder unter dem Einfluss von Vulkanasche, die zuvor mit neuen Schutzschichten versehen worden sind. In dem windkanalähnlichen Versuchsaufbau werden der Ansaugluft der Turbine definierte Vulkanaschemengen beigefügt. So lassen sich die Bedingungen eines Fluges durch eine Vulkanaschewolke nachstellen. Anschließend Tests an Großanlagen des Instituts geben dann Auskunft über die Wirkung der Vulkanaschepartikel auf die Turbinenschaufeln eines Strahltriebwerks. Über den Ablauf solcher Forschungsprojekte und die Rolle der Techniker bei der Werkstoffentwicklung informiert der Magazin-Beitrag „Erst mit den Technikern läuft's rund“.

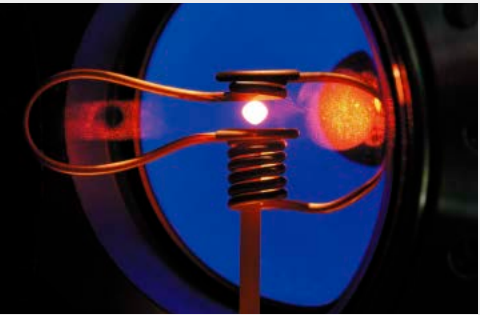
Editorial	3
EinBlick	4
Gastkommentar	
Brigitte Zypries: Forschung und Märkte	6
Meldungen	8
Mehr als Sonne, Mond und Sterne	
Gespräch zur Ausstellung Outer Space	10



Unverhoffte und erhoffte Turbulenzen	
Lidarmessungen für sicheres Fliegen	14
Auf dem Weg zum autonomen Fahren	
Anwendungsplattform Intelligente Mobilität	18



Schneller zum Zug	
NGT Link zur besseren Umlandanbindung	22
Schwebeschmelzen auf der Raumstation	
Induktionsofen nahm auf der ISS Betrieb auf	24

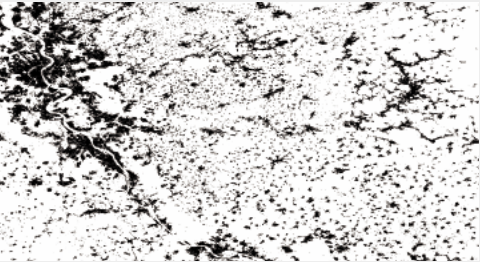


Der letzte seiner Art	
Mit ATV 5 endet diese Raumtransporter-Serie	26



Fern vom Geschehen und doch ganz nah	
Teleoperation und Telepräsenz im Weltall	30

Die Signatur des Menschen auf der Erde	
Radardaten dokumentieren Städtewachstum und Zersiedelung so genau wie nie zuvor	36



Regionalmeldungen	40
-------------------	----

Erst mit den Technikern läuft's rund	
Versierte Hintermänner bei der Suche nach neuen Werkstoffen für Triebwerksschaufeln	42

Mission Flugversuch	
40 Jahre DLR-Außenstelle Manching	48

In eisigem Wind	
Magazinserie Windkanäle, Teil 4	54



In Museen gesehen	
Der Sekunde auf der Spur	58

Rezensionen	60
-------------	----



Liebe Leserinnen und Leser,

in den letzten Wochen des Jahres 2014 war die Raumfahrt in aller Munde. Alexander Gerst kam gesund und munter von seinem langen Aufenthalt auf der Internationalen Raumstation zurück. Im Gepäck hatte er eine lange Reihe erfolgreich abgeschlossener Experimente. Ein Fest für die Wissenschaft. – Aber ist es auch ein Fest für die Märkte?

Von der Politik wird immer wieder die Forderung nach anwendbaren Ergebnissen für die Gesellschaft und die Wirtschaft erhoben. Forschung, insbesondere die Raumfahrtforschung, ist kein schnelles Geschäft, sondern eines, für das man langen Atem braucht. Die Erkenntnisse, die bis heute schon aus ihr gewonnen wurden, für die Medizin, die Physik, die Materialforschung und anderes mehr sowie für das allgemeine Verständnis von Zusammenhängen in allen Disziplinen, sind einzigartig.

Eine Erkenntnis hat mich besonders berührt: Alexander Gerst, der uns während seines gesamten Weltraumaufenthalts über die sozialen Medien an seiner Mission teilhaben ließ, schrieb: „Von hier oben sieht man keine Grenzen.“ Wohl aber sah er von seinem Außenposten kriegerische Handlungen. Sein Kollege Maxim Surajev zog nach und forderte bei der Landung: „Nehmt euch ein Beispiel an der hervorragenden Zusammenarbeit der Raumfahrer.“

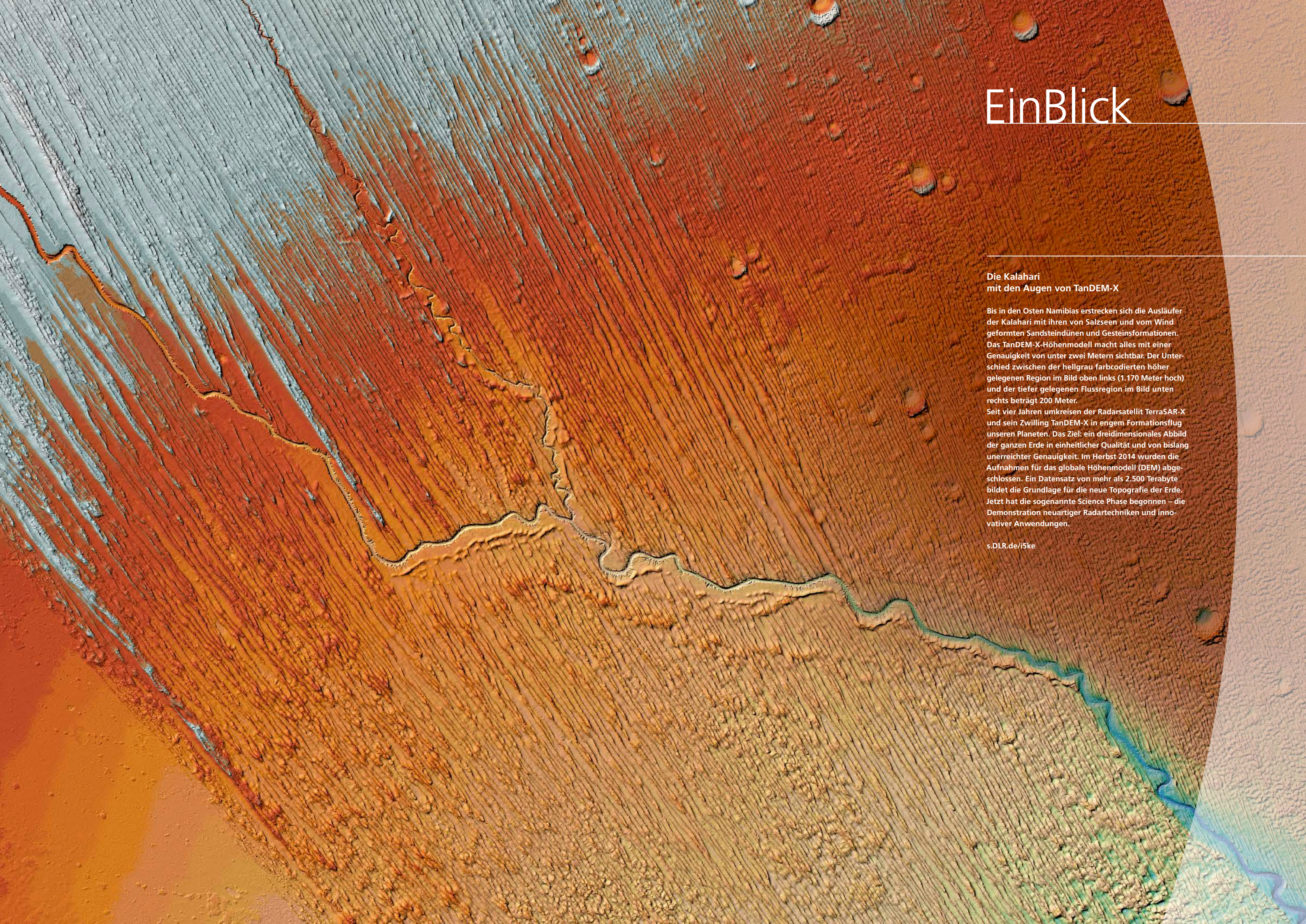
Ebenso emotional wie spektakulär war die Landung der Sonde Philae auf dem Kometen 67P. Zehn Jahre, ein unvorstellbar weiter Weg und sehr unwirtliche Bedingungen – trotzdem ist das Glanzstück gelungen. Deutschland und Europa katapultieren sich mit diesem Erfolg zur Spitze der Raumfahrtnationen.

Beide Missionen sind ingenieurwissenschaftliche Meisterleistungen, die den europäischen Markt durch das begründete Vertrauen in europäische Hochtechnologie stärken.

Märkte haben durchaus verschiedene Gesichter. Und Marktwirkungen gehen von vielen Forschungsprojekten aus, deren Titel das nicht immer gleich verraten. EML etwa, der Induktionsofen mit dem sperrigen Namen Elektromagnetischer Levitator. Er arbeitet auf der Internationalen Raumstation ISS, um aus Schmelzprozessen in der Schwebelage zu lernen, wie man Gießprozesse auf der Erde optimieren kann. Oder auch langwierige Tests neuer Triebwerksschaufeln. Sie machen Flugzeugtriebwerke hitzebeständiger. Das ist gut für deren Effizienz und es schont die Umwelt. Oder AIM: Die Anwendungsplattform Intelligente Mobilität zeigt, wie wir auch morgen noch mobil bleiben können.

Womit wir beim Credo des DLR sind: Wissen für Morgen. Dem wird das DLR auch 2015 treu bleiben. In diesem Sinne: Genießen wir gemeinsam nach einem arbeits- und ereignisreichen Jahr die letzten Tage 2014 und freuen uns auf das Jahr 2015, in dem das DLR ganz sicher wieder mit „marktwirksamen“ Entwicklungen aufwarten wird.

Sabine Hoffmann
Leiterin DLR-Kommunikation



EinBlick

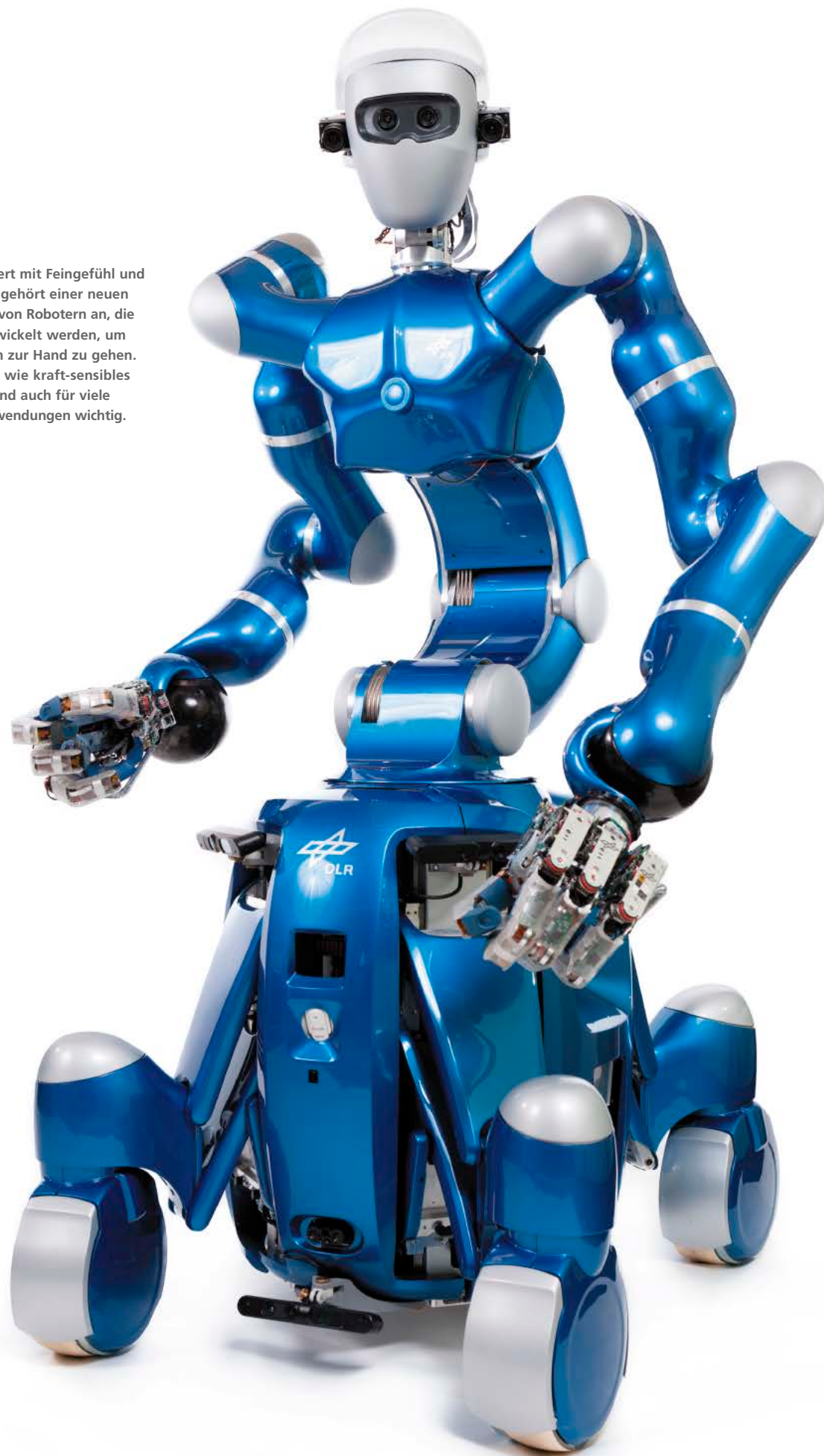
Die Kalahari mit den Augen von TanDEM-X

Bis in den Osten Namibias erstrecken sich die Ausläufer der Kalahari mit ihren von Salzseen und vom Wind geformten Sandsteindünen und Gesteinsformationen. Das TanDEM-X-Höhenmodell macht alles mit einer Genauigkeit von unter zwei Metern sichtbar. Der Unterschied zwischen der hellgrau farbcodierten höher gelegenen Region im Bild oben links (1.170 Meter hoch) und der tiefer gelegenen Flussregion im Bild unten rechts beträgt 200 Meter.

Seit vier Jahren umkreisen der Radarsatellit TerraSAR-X und sein Zwilling TanDEM-X in engem Formationsflug unseren Planeten. Das Ziel: ein dreidimensionales Abbild der ganzen Erde in einheitlicher Qualität und von bislang unerreichter Genauigkeit. Im Herbst 2014 wurden die Aufnahmen für das globale Höhenmodell (DEM) abgeschlossen. Ein Datensatz von mehr als 2.500 Terabyte bildet die Grundlage für die neue Topografie der Erde. Jetzt hat die sogenannte Science Phase begonnen – die Demonstration neuartiger Radartechniken und innovativer Anwendungen.

s.dlr.de/i5ke

Justin reagiert mit Feingefühl und Umsicht. Er gehört einer neuen Generation von Robotern an, die im DLR entwickelt werden, um Astronauten zur Hand zu gehen. Fähigkeiten wie kraft-sensibles Zugreifen sind auch für viele irdische Anwendungen wichtig.



Forschung und Märkte

Von Brigitte Zypries

Die Entwicklung des Wissenschafts- und Wirtschaftsstandorts Deutschland hängt entscheidend vom erfolgreichen Wissens- und Technologietransfer aus der Forschung in die Wirtschaft und die Gesellschaft ab. Wissenschaftliche Erkenntnisse und technologische Entwicklungen sind Keimzellen für Innovation und Fortschritt.

Dem vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie institutionell geförderten Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) kommt als anwendungsnahe, ingenieurwissenschaftliche Forschungseinrichtung eine wichtige Rolle im deutschen Innovationsgeschehen zu. Das DLR deckt eine große Bandbreite verschiedener Forschungs- und Arbeitsbereiche ab, oft in Zusammenarbeit mit anderen Forschungseinrichtungen und Wirtschaftsunternehmen: Im Luftfahrtbereich arbeitet das DLR gemeinsam mit der Industrie am Zukunftsthema „virtual product“, das gute Aussichten hat, Maßstäbe für künftige Flugzeugentwicklungen zu setzen. Mit Hilfe virtueller Entwicklungsumgebungen sollen die Arbeiten der beteiligten Teams künftig in Echtzeit koordiniert werden. Dadurch wird der Prozess effizienter, sicherer und transparenter. Zugleich sollen die gewonnenen Daten und Spezifikationen unmittelbar in den Zulassungsprozess einfließen und so helfen, wertvolle Zeit zu sparen.

In der Raumfahrt steht das DLR mit der Mission von Alexander Gerst zur Internationalen Raumstation und dem Flug der Rosetta-Sonde für deutsche Kompetenzen in Wissenschaft und Management. Diese und andere Missionen zeigen auch, wie wissenschaftliche Entwicklungen der Raumfahrt durch gezielten Technologietransfer zum wirtschaftlichen Faktor werden können. So wurde aus einem Sensor der Rosetta-Mission das Waldbrand-Frühwarnsystem FireWatch entwickelt. Raumfahrt-Robotik fokussiert den Blick nicht nur auf die Erkundung unseres Sonnensystems, sondern trägt weit über die Raumfahrt hinaus zur Wertschöpfung in anderen Wirtschaftsbereichen bei.

In Zusammenarbeit mit den anderen Mitgliedern der Helmholtz-Gemeinschaft, Universitäten und Industrieunternehmen leistet das DLR wichtige Beiträge zur Umsetzung der Energiewende. Es profitiert dabei von Synergien aus der Luft- und Raumfahrtforschung, so bei der Weiterentwicklung moderner Turbinentechnologien, der effizienten und sicheren Auslegung von Verdichtern, satellitengestützten Untersuchungen von Standorten für Wind- und Solaranlagen sowie Technologien zur Energiespeicherung oder der Materialforschung. Ein international besetztes Gutachtergremium hat der Energieforschung des DLR jüngst eine Spitzenstellung in vielen Bereichen bescheinigt.

Die enge Verknüpfung der Energie- mit der Verkehrsforschung im DLR zeigt exemplarisch das Verbundprojekt „Thermoelektrischer Generator“: Dabei wird Energie mit Hilfe thermoelektrischer Materialien aus einem Temperaturgefälle gewonnen. So werden ganz ohne mechanisch bewegliche Teile bis zu 600 Watt pro Personenkraftwagen generiert. Auch bei der Entwicklung innovativer Fahrer-Assistenzsysteme erzielt das DLR beachtliche Erfolge. Erfreulich sind die in Zusammenarbeit mit der Automobilindustrie erfolgten Patentanmeldungen.

Bei der Forschung in Hochtechnologiebereichen gewinnen die weitere Intensivierung der Zusammenarbeit mit der Industrie sowie der Ausbau des Technologietransfers für das DLR immer größere Bedeutung. Eine noch stärkere Ausrichtung seiner Forschungsthemen an Märkten soll das DLR als kompetenter Forschungspartner von Wirtschaftsunternehmen in die Lage versetzen, verstärkt Industrienaufträge zu akquirieren. Auch Ausgründungen, Beteiligungen sowie Lizenznahmen sind Erfolgsparameter für wirtschaftliche Verwertung, die es neben der wissenschaftlichen Exzellenz noch mehr zu beachten gilt.

Ich freue mich auf die weitere Zusammenarbeit mit dem DLR und wünsche allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern für die künftigen Herausforderungen viel Erfolg! ●



Brigitte Zypries
Parlamentarische Staatssekretärin beim Bundesminister für Wirtschaft und Energie und Koordinatorin der Bundesregierung für die Deutsche Luft- und Raumfahrt

Bild: Bundesregierung/Bergmann

Meldungen

Messflüge über dem brasilianischen Regenwald



Die jeweils siebenstündigen ACRIDICON-Messflüge geben Auskunft darüber, wie sich Wolken in sauberer Urwaldluft von denen in verschmutzten und entwaldeten Regionen unterscheiden. Das Bild zeigt den Nasenmast des Forschungsflugzeugs HALO (am unteren Bildrand) vor einem sich auflösenden Gewitter.

Gewitterwolken über dem Regenwald waren das Ziel von Forschungsflügen mit HALO. Das vom DLR betriebene Atmosphärenforschungsflugzeug war im Oktober 2014 für deutsche Umwelt- und Klimaforschungseinrichtungen unterwegs im Amazonasgebiet in Brasilien, um Entstehung, Entwicklung und Eigenschaften tropischer Wolken zu erkunden.

Mit der Mission ACRIDICON (Aerosol, Cloud, Precipitation and Radiation Interactions and Dynamics of Convective Cloud Systems) wollen die Forscher jene mikrophysikalischen Vorgänge in den Wolkentürmen genauer verstehen, die für deren Klimawirkung bestimmend sind. Zudem untersuchten sie, wie Spurenstoffe durch hochreichende Wolken nach oben transportiert werden und wie Brandrodungen die Wolkeneigenschaften sowie den Niederschlag beeinflussen. Die wissenschaftliche Leitung der Messflüge in Brasilien lag beim Max-Planck-Institut für Chemie (MPIC) und der Universität Leipzig. An der HALO-Flugkampagne beteiligten sich 23 wissenschaftliche Einrichtungen.

Das DLR war an der Mission mit Spurengas-, Aerosol- und Eispartikelmessungen beteiligt. Erste Analysen zeigen, dass verschmutzte Wolken eine höhere Konzentration von Wassertropfchen aufwiesen, die Tropfchen dafür aber kleiner sind als in den sauberen Wolken. Die Messflugkampagne hat reichlich Daten geliefert, um die Einflüsse von Aerosolen und Wolken auf das Klima besser zu verstehen.



s.DLR.de/d742

Simulator zeigt Vorgänge in Lithium-Ionen-Batterien



Arbeiten am Thermoelektrischen Generator: Thermoelektrische Elemente ermöglichen es, aus Abgas Strom zu gewinnen.

Batterie- und Brennstoffzellentechnologien und das Thermomanagement von Fahrzeugen wurden vom DLR auf der Messe World of Energy Solutions in Stuttgart im Herbst 2014 präsentiert. Dazu gehörte ein interaktiver Batterie-Tester. Mit dem Simulator können die Energieforscher verfolgen, wie schnell eine Lithium-Ionen-Batterie altert und welche Prozesse dabei in ihrem Inneren ablaufen. Außerdem prüfen sie, wie sicher der Betrieb der Batterie in unterschiedlichen Fahrzyklen ist.

Gezeigt wurde auch ein Brennstoffzellen-Smart, an dem man Einblick bekam, wie mit Hilfe eines Thermoelektrischen Generators die Abwärme von Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor weitergenutzt werden kann. Andere Exponate verglichen unterschiedliche Elektrolyseverfahren zur Wasserstoffherstellung oder erläuterten die Funktionsweise eines Hybridkraftwerks. Dieses dezentrale Kraftwerkskonzept kombiniert eine Hochtemperaturbrennstoffzelle (SOFC, Solid Oxide Fuel Cell) mit einer kleinen Gasturbine und kann so nahe am Verbraucher sehr effizient Strom und Wärme erzeugen, um beispielsweise Häuserblocks zu versorgen.



s.DLR.de/x69k

Forschungsballone über Nordschweden



Der Ballon BEXUS 19 wird mit Helium gefüllt. Auf der rechten Seite steht der Startwagen „Herkules“ mit der Gondel.

Vom schwedischen Raumfahrtzentrum Esrange aus starteten im Oktober 2014 wieder Forschungsballone. An Bord der beiden Ballongondeln BEXUS 18 und 19 schickten Studententeams aus Deutschland, Schweden, Italien und Spanien verschiedene Experimente in Richtung Stratosphäre.

Mit den gemeinsamen Missionen des DLR und der Schwedischen Raumfahrtbehörde SNSB wurde zum einen der Ballon wie ein Satellit zur Datenübertragung und als Testumgebung für Technologien eingesetzt, die sich später auf Kleinsatelliten bewähren sollen. Zum anderen trugen die BEXUS-Ballone Messgeräte, um mehr über die Atmosphäre und das Weltraumwetter zu erfahren.



s.DLR.de/jxx7

Sensorsystem für toxische Gase

Ein kompaktes und kostengünstiges Sensorsystem für die Gasspektroskopie ist von Wissenschaftlern des DLR und des Leibniz-Instituts für innovative Mikroelektronik (IHP) entwickelt worden. Das Sensorsystem ermöglicht es, giftige Gase frühzeitig aufzuspüren. Es verwendet erstmals einen integrierten Silizium-(Si)-Germanium(Ge)-Sender sowie einen SiGe-Empfänger. Sender und Empfänger wurden in der silizium-basierten Höchstfrequenz-Technologie des IHP kostengünstig hergestellt.

Das Gesamtsystem haben Forscher des DLR-Instituts für Planetenforschung konzipiert. Sie implementierten darin die empfindlichen sowie hochspezifischen Detektionsmethoden.



s.DLR.de/tonh

Laboraufbau des 245-GHz-Gasspektroskopie-Systems mit dem Sender- und Empfänger-Modul und der Gasabsorptionszelle



Wie Vulkanasche Flugzeugtriebwerke schädigt

Wie Vulkanasche auf Flugzeuge wirkt, erforscht das DLR im Projekt VolcATS-Vehicle (Volcanic Ash Impact on the Air Transport System). Aschepartikel schädigen Flugzeugtriebwerke durch die von scharfkantigen Partikeln verursachte Erosion. Auch von geschmolzener Asche geht Gefahr aus. Hinzu kommt das Zusetzen von Brennstoffdüsen, Kuhlftbohrungen und Turbinenströmungsquerschnitten. Bei Flügen durch Vulkanaschewolken wurde zudem von Funkunterbrechungen und Auswirkungen auf Navigationssysteme berichtet. Auch die für Geschwindigkeitsmessungen genutzten Sonden waren mit Vulkanasche kontaminiert.

Der Grad der Schädigung ist abhängig von der Geometrie der Partikel, ihrer Konzentration, den Betriebsbedingungen des Triebwerks und den physikalischen und chemischen Eigenschaften der Asche. Um die unterschiedlichen Konstellationen zu untersuchen, sind im DLR verschiedene Prüfstände und Testverfahren entwickelt worden, sodass diverse Betriebsphasen und -temperaturen eines Triebwerks simuliert werden können. Thermisch besonders belastete Bauteile wie Brennkammern und Turbinenschaufeln sind mit einer keramischen Hitzeschuttschicht ausgestattet. Deren säulenartige Mikrostruktur kann sich dem temperaturbedingten Ausdehnen der darunterliegenden Metallstruktur anpassen. Vulkanasche kann bereits bei 900 Grad Celsius honigartig erweichen und dann auf der keramischen Schutzschicht festbacken. Dadurch verliert die säulenartige Struktur ihre Flexibilität, die Thermoschockbeständigkeit der Wärmedämmschicht wird herabgesetzt. Die Schicht platzt ab und das Metall der Turbinenschaufel korrodiert.

Mit den Ergebnissen der Untersuchungen soll das Gefahrenpotenzial von Vulkanasche für Luftfahrzeuge detaillierter eingeschätzt werden.



s.DLR.de/ux26



Teilweise geschmolzene Turbinenschaufel

3-D-REISE DURCH DAS SONNENSYSTEM



bit.ly/1xwumK6

Einmal durch das Sonnensystem reisen – die Gratis-App „Solar Walk“ macht es möglich und das im eindrucksvollen

3-D-Modus. Mit der intuitiven Navigation nähert man sich Planeten und Monden, kann sie von allen Seiten betrachten und erhält dazu ausführliche Informationen über den angesteuerten Himmelskörper.

WELT-QUIZ GEOGRAPHIE



quiz-geographie.de

Wie heißt die Hauptstadt von Peru? Wo genau liegt das Tote Meer? In welcher Höhe befindet sich die Stratosphäre? – Egal, ob Kontinente, Metropolen, Gewässer oder Atmosphäre: Die Quiz-Site bietet viele spannende und teils auch knifflige Fragen rund um den Globus.

MIT COMICS ERKLÄRT



bit.ly/1yeXMzi

In ihren „Klar soweit?“-Comics erklärt die Helmholtz-Gemeinschaft schwierige Sachverhalte so, dass sie jeder versteht.

In Nummer 8 geht es um die Sicherheit von Daten und Verschlüsselung im Internet, Nummer 9 widmet sich dem Thema Licht.

HISTORISCHE FOTOS, ZEICHNUNGEN UND KARTEN



bit.ly/1sQZYaj

Mehr als zwölf Millionen Bilder hat der US-Forscher Kalev Leetaru aus Büchern gescannt und auf Flickr gestellt. Die historischen Bilder aus den Jahren 1500 bis 1922 sind für jeden kostenlos und lizenzfrei nutzbar.

VIRTUELLER WALD FÜR MEHR KONZENTRATION



bit.ly/W2dwVs

Die App „Forest: Stay focused“ sorgt für konzentriertes Arbeiten. Das Prinzip ist so simpel wie praktisch: App einschalten, virtuell einen Baum pflanzen und während einer strikten 30-minütigen Handypause wächst ein Baum heran. Die Anwendung ist für Android kostenlos, für iOS-Nutzer kostet sie 89 Cent.

EIN FLUGHAFEN IN RENTE



www.flughafen-riem.de

Einen Museumsbesuch von daheim ermöglicht die Webseite des alten Münchner Flughafens „Riem“. Dort gibt es Bilder, Videos und Informationen rund um das ehemalige „Tor zur Welt“.

ALTERNATIVE ZU FACEBOOK



bit.ly/1xwvkvJ

Mit dem Social Network „Elo“ möchten die Entwickler eine Facebook-Alternative ohne Datensammlung und Werbung bieten. Doch was kann das Netzwerk alles und wie wird man Mitglied? Der Artikel gibt eine gute Übersicht.

ROSETTA-MISSION IM KURZFILM



bit.ly/1voaPZa

Im Video „Mission ins Ungewisse, Teil II – Der Kometenlander Philae“ sprechen beteiligte Wissenschaftler über die Meilensteine der Mission Rosetta und das Außergewöhnliche an der Aufgabe, nach zehnjähriger Reise und rund sieben Milliarden Kilometer Wegstrecke auf dem Kometen 67P/Churyumov-Gerasimenko zu landen.

Mehr als Sonne, Mond und Sterne

Seit jeher ist der Weltraum Sehnsuchtsort, Projektionsfläche und Gegenstand menschlicher Neugier. Philosophen und Naturwissenschaftler, Literaten, Filmemacher, bildende Künstler und Visionäre haben sich damit beschäftigt. Vom 3. Oktober 2014 bis zum 22. Februar 2015 widmet die Bundeskunsthalle in Bonn dem Weltraum eine große interdisziplinäre Ausstellung. Das DLR ist wissenschaftlicher Partner von „Outer Space“. Die Kuratoren Claudia Dichter und Stephan Andreae erklären im Gespräch mit DLR-Redakteurin Elisabeth Mittelbach die Hintergründe.

Das DLR ist Kooperationspartner der Ausstellung „Outer Space“ in der Bundeskunsthalle in Bonn

„Triebwerk und Tierkreis“ nannten die Kuratoren den Raum, dessen Zentrum das Haupttriebwerk der Weltraumträgerrakete Ariane IV bildet



Ausstellungseingang in der Bundeskunsthalle in Bonn



Claudia Dichter:

Kunsthistorikerin, Journalistin und Kuratorin, arbeitet bei Outer Space erstmals für die Bundeskunsthalle. Sie stand bei einer gemeinsamen Autofahrt mit Co-Kurator Stephan Andreae von Hamm nach Bonn im Stau. – Die Gelegenheit zum Brainstorming – und die Geburtsstunde von Outer Space.



Stephan Andreae:

Philosoph, Theaterwissenschaftler, Maler, Vogel- und Bienenfreund, arbeitet seit 1991 für die Bundeskunsthalle. Er ist Projekt- und Programmleiter des Forums. Spannung entsteht für ihn durch (vermeintliche) Gegensätze. Zusammen mit Claudia Dichter hat Stephan Andreae im Herbst 2010 das Exposé für die Ausstellung „Outer Space – Faszination Weltraum“ geschrieben.

Die Kuratoren

Der Weltraum – unendliche Weiten ... so beginnt jede Folge der US-amerikanischen Kultserie Raumschiff Enterprise. Wie schlagen Sie bei Outer Space den Bogen von der Kultur zur Wissenschaft?

Claudia Dichter: Unserer Meinung nach sind die künstlerische und die (natur-)wissenschaftliche Herangehensweise die Kehrseiten der gleichen Medaille. Das Interesse am Weltraum ist eine anthropologische Konstante, die ist grundsätzlich bei allen Menschen vorhanden, ob Sie jetzt einen Wissenschaftler vom DLR oder der NASA nehmen oder einen zeitgenössischen Künstler, der sich mit dem Weltraum befasst. Der Motor, nämlich die Neugierde und Faszination für dieses letztlich auch ein Stück weit Unbegreifliche und Große, ist überall da. Uns ist bei Outer Space wichtig, Dinge in einen Dialog treten zu lassen und zu schauen, was passiert. Im besten Falle nehmen wir den Besucher mit auf diese Exploration. Besonders ist auch, dass wir selbst keine Wissenschaftler sind und

uns dem Thema eher aus kunsthistorischer, künstlerischer Sicht genähert haben. Wir haben durch das DLR ideelle und finanzielle Unterstützung erhalten und es war ganz klar, dass wir diesen wissenschaftlichen Partner brauchen, auch wegen der Expertise.

Outer Space – hinter diesem Titel steckt eine universelle Fragestellung, die Sie mit mehr als 300 Exponaten von 95 Leihgebern in zwölf Themenräumen beantworten. Wie haben Sie hier recherchiert und ausgewählt?

Stephan Andreae: Outer Space ist interdisziplinär angelegt – und vor vier Jahren, als wir anfangen mit unserem Konzept, war ein gewisser Hunger da nach dieser Art großer Ausstellung, die mit Kunst und Wissenschaft zu tun hat. Ich muss aber gleich dazu sagen, dass man so etwas nicht jedes Jahr machen kann. So ein Projekt ist kompliziert, langwierig und teuer. Aber es war mal wieder fällig ...



Fiktion und Fakten

In zwölf Räumen und rund 330 Exponaten geht Outer Space zentralen Weltraum-Themen nach: von Gravitation und Planetenforschung über das Sonnensystem und Raketen bis zu Schwarzen Löchern und UFOs.

Die Exponate umfassen Artefakte aus der Raumfahrt (Raumanzüge, geflogene Objekte von Astronauten, Instrumente etc.) und der Astronomie (Teleskope, Sternenkarten etc.), dokumentarisches Material (Zeitschriften, Fotografien, Manuskripte etc.), Mondstaub und Meteorite, Filme, Comics, frühe Mondfotografien, Meisterwerke der Kunstgeschichte, Werke der Klassischen Moderne, zeitgenössische Kunst und multimediale Installationen.

Das Modell der Internationalen Raumstation ISS reiste vom DLR Raumfahrtmanagement auf der gegenüberliegenden Rhein-Seite Bonns an. Das Modell der Ariane-Trägerrakete stammt von Airbus Defence and Space. Rechts im Bild der zentrale Raum von Outer Space mit Science-Fiction-Helden, unter anderem aus Star Wars, E. T. und Alien.

Dichter: Wir haben nach dem „Go“ im November 2010 mit der weltweiten Recherche begonnen. Wir haben viel Material sondiert. Wir sind viel gereist, waren in Künstlerateliers, zweimal in den USA – in Washington im National Air and Space Museum und in Huntsville im US-Space and Rocket Center –, in Russland, auf der Internationalen Luft- und Raumfahrtausstellung ILA in Berlin, im Deutschen Museum in München, in der Deutschen Raumfahrtausstellung in Morgenröthe-Rautenkranz, aber auch bei einem Sammler in Paris, der alle Exponate aufkauft, die bei großen Science-Fiction-Filmen entstehen – von E. T. über R2D2, C3PO, Alien, Raumschiffe, Anzüge ... Es geht bei Outer Space nicht nur durch verschiedene Themen, sondern auch Zeiten. Am Anfang haben wir gedacht, Space-Design und Science-Fiction-Literatur könnten wir auch noch mit aufnehmen, aber dann mussten wir streichen. Und uns war schnell klar, dass wir einen Partner brauchen. So haben wir das DLR angesprochen und hatten das Glück, jemanden zu finden, der das Projekt ebenso spannend fand und das Potenzial für beide Partner erkannt hat.

Andreae: Ja, besonders schön fand ich die spontane Unterstützung des DLR-Vorstandsvorsitzenden Prof. Johann-Dietrich Wörner. Er war sofort offen für das Thema und fragte direkt, ob denn auch der Science-Fiction-Klassiker Raumpatrouille Orion ein Thema sei ...

Das ist ja seine Lieblingsserie ...

Andreae: Ja, das wissen wir jetzt auch (lacht), und tatsächlich ist das berühmte Bügeleisen aus dem Maschinenraum auch bei Outer Space zu sehen ...

Und welche „Höhepunkte“ erwarten die Besucher sonst so?

Dichter: Das ist schwer zu beantworten, da wir versuchen, viele Highlights zu zeigen und unterschiedliche Interessen anzusprechen. Das größte Innen-Exponat ist die restaurierte Liberty Bell-Raumkapsel, die zum ersten Mal außerhalb der USA zu sehen ist.

1961 landete dieses Raumschiff nach einem kurzen Raumflug im Atlantik und wurde 38 Jahre später aus 6.000 Meter Tiefe geborgen. Das höchste Exponat ist das zwölf Meter hohe Modell einer Ariane-Rakete. Das kleinste Ausstellungsstück ist wohl eine Prise Mondstaub vom DLR und eine Walnuss mit eingemaltem Sternenhimmel. Zu den teuersten Exponaten zählt Peter Paul Rubens' „Erschaffung der Milchstraße“ aus dem Prado in Madrid ... Ab Dezember 2014 ist dann auch noch unsere Bundes-Biene zu sehen – eine in Harz eingefasste echte Biene, die Alexander Gerst auf seine BlueDot-Mission zur ISS mitgenommen hatte.

Eine Weltraumbiene – das gab es ja noch nie!

Andreae: Ja, die Biene steht für uns, da wir auf unserem Dach nicht nur einen Vogelflughafen haben, sondern eben auch Bienen. Ich hatte ja zunächst Zweifel, ob Alexander Gerst sie wegen des auf 1,5 Kilogramm beschränkten persönlichen Gepäcks auch wirklich mitgenommen hat ...

Wie unterscheidet sich denn Ihrer Ansicht nach Outer Space von bisherigen Weltraum-Ausstellungen?

Dichter: Natürlich hat es x Ausstellungen gegeben: zeitgenössische Kunst und Weltraum, Technikgeschichte der Raumfahrt und andere mehr. Das Schöne ist, dass wir eine unglaubliche Themenvielfalt haben, aber punktuell immer die Verbindung von Kunst/ Kultur und Wissenschaft sehen. Zum Beispiel im Raketenraum: Dort erzählen wir ein Stück Geschichte der Raketenpioniere, die aber auch durch Jules Verne und andere Science-Fiction-Autoren beeinflusst waren. Hermann Oberth, der mit seinem Buch „Die Rakete zu den Planetenträumen“ zunächst als Spinner abgetan wurde, hat zum Beispiel mit dem Regisseur Fritz Lang bei „Die Frau im Mond“ erfolgreich zusammengearbeitet und hierfür seine erste Rakete „Friede“ gebaut. Fritz Lang hat den Countdown erfunden, der bis heute für alle Raketenstarts in der westlichen Welt maßgeblich ist. Ohne das eine hätte es das andere nicht ge-

geben. Ohne Jules Verne wäre Oberth vielleicht nicht zu diesem Raketenpionier geworden, ohne Oberth hätte Fritz Lang seinen Film anders gedreht. Das sind Geschichten, die im Kopf bleiben.

Andreae: Wir präsentieren Exponate in ganz verschiedenen Zugangsweisen. Wir springen sozusagen von der linken auf die rechte Hirnhälfte, was einen Rundgang abwechslungsreicher macht. Für das DLR ist das deshalb interessant, weil der emotionale Aspekt auch eine wichtige Rolle in der Wissenschaft spielt, um sich zu legitimieren, aber auch um zu motivieren. Wir zeigen zum Beispiel vom DLR ein ISS-Modell und ein Modell des Sojus-Raumschiffs mit Alexander Gerst als Mini-Astronaut und spielen dazu einen O-Ton vom echten Alexander ein.

Auf Kombinationen wie Tierkreis und Triebwerk muss man aber erstmal kommen ...

Andreae: Dieser Raum ist rund unter einem großen Lichtkegel, ein Triebwerk ist nun mal auch rund und als ich das zum ersten Mal gesehen habe, habe ich spontan an eine Blume gedacht: einen silbernen Topf mit Blütengewirr, das oben rot herauskommt. Ohne eine Ahnung davon zu haben, wieviel PS so ein Triebwerk hat. Den Tierkreis stellen wir mit Skulpturen der Schweizer Bildhauerin Eva Aeppli dar – das ist so widersprüchlich und doch so schön zusammen. Mich interessiert vor allem die Spannung dabei.

Gab es auch schmerzliche Absagen bei den Leihgaben? Mussten Sie improvisieren?

Dichter: Ja, in der Tat. Wir hätten liebend gerne Adam Elsheimers „Flucht nach Ägypten“ gezeigt, eine wunderbare kleine Kupfertafel aus dem Jahre 1609 – die eigentlich gedanklich den Grundstein von Outer Space darstellt, da sie für die Kunst- und Astronomiegeschichte ganz wichtig ist. Es hat eine Kooperation zwischen der Alten Pinakothek, dem Leihgeber der Kupfertafel, und dem Deutschen Museum in München gegeben und Astronomen konnten herausfinden, dass Elsheimer das Bild im Sommer 1609 in Rom gemalt hat und er dabei durch ein Teleskop geguckt haben muss. Damit ist klar, dieses Bild hätte ohne den wissenschaftlichen Fortschritt des Teleskops nicht entstehen können. Doch leider darf das Bild nicht transportiert werden, das wäre zu stressig. Jetzt haben wir eine Radierung von Elsheimer ... und wir haben zusätzlich Videos mit Experten, die wir als Einspieler zeigen, damit die Geschichte für die Besucher nachvollziehbar wird.

Andreae: Noch ein herber Verlust für die Ausstellung ist in unseren Augen der mumifizierte Zeigefinger von Galileo Galilei, der gehört einem Antiquar in Florenz, ist also in Privatbesitz. Er hätte uns den Finger nicht exklusiv gegeben, sondern nur mit eigener Galileo-Ausstellung ...

Und wie Sie jetzt wissen, gilt ja in der Raumfahrt die Devise: „Failure is not an option“ ...

Dichter: Ja, genau (lacht). 1.500 Quadratmeter Ausstellungsfläche können auch ermüdend sein – deshalb hat jeder Raum eine andere Qualität, einen anderen Grundriss, eine andere Wandfarbe ... das ist ein bisschen so, wie wenn man eine Raumstation betritt und von Modul zu Modul geht. Es gibt auch Hohlräume – zum Beispiel mit einem Science-Fiction-Raumschiff – das suggeriert den Blick von der ISS ins All. Jeder Raum wird anderes Publikum haben. Manches kann man einfach konsumieren, anderes muss man wirklich verstehen ... und manches erkennt man erst auf den zweiten Blick. ●

Weitere Informationen:
s.dlr.de/fyk4
bundeskunsthalle.de/ausstellungen/outer-space.html
DLR.de/bluedot



Peter Paul Rubens' Gemälde „Die Geburt der Milchstraße“ kam aus dem Madrider Museo Nacional del Prado nach Bonn



Das Columbus-Modul der ISS mit Alexander Gerst wurde vom Europäischen Astronautentrainingszentrum in Köln zur Verfügung gestellt



Raum „Kollision“ mit dem Lander Philae der Rosetta-Mission



Die erste deutsche Wiedereintrittskapsel, geflogen 1997, in Nachbarschaft mit Yves Kleins Monochrome Bleu



Für das Vermessen sogenannter Klarluft-turbulenzen wurde das niederländische Forschungsflugzeug so stark modifiziert wie noch nie: Hinter der seitlichen Verkleidung, dem Fairing, verbirgt sich ein Umlenkspiegel, der den Laserstrahl in Flugrichtung lenkt.

Von erhofften Turbulenzen und unverhofften Schwierigkeiten

Ein lauer Sommertag, die Luft glasklar, der Flug ist ruhig und angenehm – schlimmer hätte es nicht kommen können. Wirklich nicht. Nach jahrelangen Turbulenzen am Boden sollten sie nun in der Luft schließlich ausbleiben. Dr. Patrick Vrancken und seine Kollegen führten ihr Vorhaben dennoch zum Erfolg – hartnäckig und einfallsreich.

DELICAT: Flugzeuggetragene Lidarmessungen von Luftturbulenzen

Von Bernadette Jung

Es beginnt im März 2009. Ein Forschungsprojekt für mehr Sicherheit im Flugverkehr bringt Dr. Patrick Vrancken nach Oberpfaffenhofen, an das DLR-Institut für Physik der Atmosphäre. Ziel ist es, im Rahmen von DELICAT (DEMonstration of LIDAR based Clear Air Turbulence detection) Methoden zur Erkennung von Klarsicht-Turbulenzen zu entwickeln, den sogenannten CATs. Dabei handelt es sich um Turbulenzen in der Atmosphäre, die unabhängig von Bewölkung auftreten, nicht sichtbar sind und auch nicht genau vorhersagbar. Ein Problem in der Luftfahrt, da sie Passagiere und Besatzung in der Kabine unangenehm überraschen: Mit der Stärke der Turbulenz steigt die Sturz- und Unfallgefahr.

Der Plan

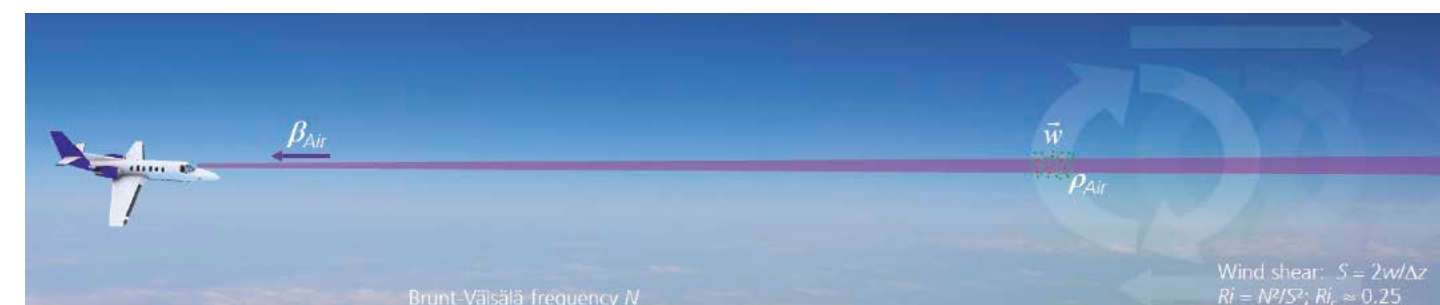
Eine neue Messmethode soll das Unsichtbare im Voraus sichtbar machen: Am Institut für Physik der Atmosphäre wird dafür ein laserbasiertes Messgerät entwickelt. Das LIDAR-Instrument (Light Detection and Ranging) kann an einem Flug-

zeug angebracht werden und für die vorausliegende Strecke die Dichte der Luft bestimmen. Schwankungen in der Dichte geben dann Aufschluss über dort herrschende Turbulenzen. So weit, so gut.

Der Drei-, am Ende dann Fünfjahresplan sieht die Entwicklung des Messsystems vor, den Einbau in ein Flugzeug und die entsprechende Zertifizierung, eine Messkampagne zur Demonstration der Technologie, die Datenauswertung und Analyse für die zukünftige Nutzbarmachung. Insgesamt zwölf Partner sind an dem europäischen Verbundprojekt beteiligt. Vrancken macht sich im DLR Oberpfaffenhofen an die Arbeit.

Die Herausforderungen

Das Herzstück des LIDAR-Systems, den Transmitter, liefert das DLR. Es übernahm auch den Einbau ins Flugzeug. Weitere Elemente wie Empfänger, Laserstrahlnachführung und Flugzeug werden von anderen Partnern bereitgestellt. Die erste



Das Messprinzip nutzt den Umstand, dass in der turbulenten Region Luftmassen auf- und abbewegt werden und dabei ihre Temperatur und Dichte ändern



Eine CAD-Ansicht der DELICAT-Instrumentierung in der Kabine des Messflugzeugs: Das Flugzeug fliegt tatsächlich nach links. In der Mitte das Lidarsystem mit Laser-Transmitter (orange), Empfänger (gelb) und den nachgeführten Spiegeln, die den Laserstrahl durch das Kabinfenster führen.



Die eingesetzte Cessna Citation 2, hier bei einer Zwischenlandung in Aberdeen. Der Nasenmast diente zur Messung des Schiebewinkels, da das Flugzeug in leichtem Seitengleitflug geflogen werden musste.

Herausforderung: Kompatibilität. Auf Hardware-Ebene müssen die verschiedenen Subsysteme aufeinander abgestimmt werden. Auch für die jeweils unterschiedlichen Softwareprogramme beim Design muss das multinationale Team eine verbindende Lösung finden. Die zweite Herausforderung: Nach dem Instrumentenaufbau erweist sich auch der Einbau ins Forschungsflugzeug als extrem aufwändig. Das beginnt schon bei der Ausrichtung des Lasers: Dieser muss letztlich von der Kabine über mehrere Spiegel aus dem Fenster in Messrichtung geführt werden.

Mit immer neuen Einfällen und Lösungsideen treiben die Wissenschaftler den Prozess weiter voran. Nach langer Tüftelei lassen sich die vielfältigen, teils widersprüchlichen Anforderungen an Flugzeug und Messsystem dann verheiraten: von der Stabilität und Masse des Aufbaus über die sich verformende Kabine, bis zur Kühlung des Lasersystems. „Allein in das Engineering der Laserkühlung ging, gefühlt, ebenso viel Arbeit wie in die Entwicklung des Lasertransmitters selbst“, erzählt Vrancken, seines Zeichens Luft- und Raumfahrt-Ingenieur und in optischer Metrologie promoviert. Herausforderung Nummer drei, der Zertifizierungsprozess, wird schließlich zur Belastungsprobe.

Inzwischen ist es Dezember 2012 und ein Projektpartner ist endgültig auf der Strecke geblieben. Das DELICAT-Team geht ohne funktionsfähigen LIDAR-Empfänger in das neue Jahr. Was nun? Es folgt Plan B – B wie „Backup Receiver“. Denn tatsächlich, das DLR verfügt über einen alternativen Ersatzempfänger. Er war parallel zum Projekt entwickelt worden, als hätte Vrancken es geahnt. Der Plan geht auf. Mit vereinten Kräften machen nun Niederländer, Franzosen und Deutsche das Flugzeug und das LIDAR fit für die Mission.

Die Fluch-Kampagne

Im Mai 2013 ist das LIDAR bereit für die ersten Flugtests, zwei Monate später ist schließlich auch der Zulassungsprozess durchgestanden. Die Messungen können endlich starten. – Wenn es doch nur Turbulenzen gäbe ... Während der 30-stündigen Flugkampagne im Sommer 2013 regt sich über Europa kaum ein Lüftchen. Mit Ausgangsbasis in Amsterdam geht es über Norwegen, Schottland, Irland, Frankreich, Portugal und die Schweiz – den berühmten Jetstreams hinterher. Doch die geben den CAT-Jägern nur vereinzelt Anlass zur Freude.

Einen Vorteil hat die ruhige Wetterlage: So beweisen gerade die Nullmessungen in der Atmosphäre die hohe Messempfindlichkeit des LIDAR-Instruments. Auf einer Entfernung von 15 Kilometern zeigen sie eine Messabweichung von weniger als einem Prozent. Das Messgerät ist leistungsstark und funktioniert einwandfrei.

Die Beharrlichkeit, mit der sich das Team bisher durchgebissen hat, wird bei der Kampagne dann doch noch belohnt: Über der Nordsee und auf einem Flug über den Alpen stoßen Vrancken und seine Kollegen auf die erhofften Turbulenzen – Kategorie „leicht bis moderat“, aber ausreichend für Messungen mit dem neuen LIDAR-System. Die Auswerter können die Funktionalität des Messprinzips nachweisen. Das Projektziel von DELICAT ist damit erreicht. Allen Widrigkeiten zum Trotz.

Der Gewinn

Eine erfreuliche Nebenwirkung des turbulenten Projekts: Das entwickelte modulare LIDAR-System ermöglicht viele neue und unterschiedliche Forschungsvorhaben wie die Bestimmung von Vereisungsbedingungen oder die Detektion von Vulkanasche. Das vom DLR entwickelte Laserinstrument ist nicht nur hochleistungsfähig, sondern auch im Flugzeug flexibel einsetzbar – der umfassenden Zulassung, mit eigenem „Supplemental Type Certificate“, sei Dank. Die Mühen der Zertifizierung sind damit über das Projekt hinaus von Nutzen.

Arbeit abgeschlossen? Nach Turbulenzen jetzt Faulenzen? Von wegen. Die mageren Messungen treiben Vrancken weiter um. Wie lassen sich die Daten voll ausschöpfen? Wo verstecken sich weitere Hinweise auf Klarsicht-Turbulenzen? Abseits der bekannten Routen sucht der Wissenschaftler nach neuen Methoden zur Datenauswertung. Und das Instrument wird im DLR-Projekt L-bows weiterentwickelt. Die Jagd nach den Unruhestiftern geht also weiter. Ein Zwischenfazit? – „Kreativität und langer Atem, das funktioniert bei allen Turbulenzen.“ ●



Weitere Informationen:
s.DLR.de/f741
delicat-fp7.org

Das Projekt DELICAT und seine Beteiligten

DELICAT (DEmonstration of LIDAR based Clear Air Turbulence detection) ist ein von der Europäischen Union gefördertes Verbundprojekt. Es wurde im Jahr 2009 gestartet und endete im März 2014. Insgesamt zwölf Partner aus sieben EU-Ländern waren an dem Verbundprojekt beteiligt: Projektkoordinator THALES, das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS), Hovemere, Météo France, Nationaal Lucht- en Ruimtevaartlaboratorium (NLR), Office National d'Etudes et de Recherches Aéronautiques (ONERA), National Institute of R&D for Optoelectronics (INOE), A. M. Obukhov Institute of Atmospheric Physics/Russian Academy of Sciences (RAS), Laser Diagnostic Instruments, Interdisciplinary Centre for Mathematical and Computational Modelling/Warsaw University sowie Airbus Defence and Space. Das Projekt wurde durch das Siebte Rahmenprogramm der Europäischen Kommission (FP7/2007-2013) unter Grant-Agreement Nr. 233801 ermöglicht.



Das Lidarsystem aus dem DLR mit der Strahlführung von THALES im niederländischen Versuchsflugzeug PH-LAB



Unter seltenen Umständen können Eiswolken (Cirrus) die atmosphärischen Wellen sichtbar machen. Der Bruch einer solchen Welle verursacht Verwirbelungen in der Luft beziehungsweise eine Turbulenz – die „Clear Air Turbulence“ (CAT). Sie zu vermessen, ist nun gelungen.

Bild: RodJonesPhotography



Intelligente Mobilität: Kommunizieren Ampeln, wie sie die AIM-Referenzstrecke aufweist, miteinander, ermöglichen Geschwindigkeitsempfehlungen an den Fahrer eine Fahrt bei „grüner Welle“.

Auf dem Weg zum autonomen Fahren

Fahrzeuge, die Daten mit Ampeln austauschen können. Datenbanken, in denen das Verhalten in unterschiedlichen Verkehrssituationen gespeichert ist und systematisch ausgewertet werden kann. Fahrsimulatoren, in denen mehrere Fahrer miteinander kooperieren können. – Die DLR-Verkehrsforscher haben in den vergangenen Jahren in Braunschweig ein Verkehrslabor aufgebaut: die Anwendungsplattform Intelligente Mobilität (AIM). Im Sommer 2014 ist sie offiziell an den Start gegangen. Mit diesem Instrumentarium testen und entwickeln Wissenschaftler in Kooperation mit Automobilherstellern unter anderem unterschiedliche Fahrer-Assistenzsysteme. In einer Zeit, in der Fahrer-Assistenzsysteme und automatisierte Fahrfunktionen das Autofahren stark verändern werden, bietet AIM eine Art Methoden- und Werkzeugkasten, um diese Entwicklung voranzutreiben.

AIM: Braunschweiger Versuchslabor für Fahrer-Assistenzsysteme und die Mobilität von morgen

Von Dorothee Bürkle

Eine Kreuzung im Norden Braunschweigs. Hier treffen der Braunschweiger Ring und die Ausfallstraße Hans-Sommer-Straße/Brucknerstraße aufeinander. Im Minutentakt, gesteuert durch die Ampelphasen, wechselt die Richtung, aus der die Fahrzeuge über die Kreuzung fahren, im selben Takt die Fußgänger und Radfahrer. Rechts und links abbiegende Autofahrer suchen ihren Weg durch die nichtmotorisierten Verkehrsteilnehmer. Mit 60.000 Fahrzeugen pro Tag und mehreren Fahr- und Abbiegespuren ist diese Kreuzung eine der komplexesten Braunschweigs. Ein idealer Modellfall für die Forschung: Sämtliche Bewegungen werden deshalb hier von video- und radarbasierten Sensorsystemen erfasst und aufgezeichnet. Durch Nutzung von künstlichen Beleuchtungsquellen im Infrarotspektrum kann das Verkehrsgeschehen auch in der Nacht aufgenommen werden. „Mit den unterschiedlichen Sensoren können wir hier die Bewegungsmuster des Verkehrs aufzeichnen und analysieren“, erläutert der Aufbau- und Systemverantwortliche der AIM-Forschungskreuzung Sascha Knake-Langhorst. „Mit dem, was wir hier lernen, können wir den Verkehr auf Kreuzungen im städtischen Raum sicherer und effizienter gestalten.“ Die projektbezogenen Daten der Kreuzung werden anonymisiert gespeichert und systematisch ausgewertet, unter anderem nach Gefahrensituationen. „Unfälle werden in der Regel von der Polizei aufgenommen und sind daher relativ gut erfasst. Wenig wissen wir dagegen über Gefahrensituationen, die ohne Folgen blieben, weil es gerade noch einmal gut gegangen ist.“ Genau solche Daten helfen den Forschern, den Verkehr zu verstehen. Sie sind Grundlage für die Entwicklung von Fahrer-Assistenzsystemen hin zum autonomen Fahren.

„Irgendwann müssen wir mit einer neuen Technik ins Fahrzeug“

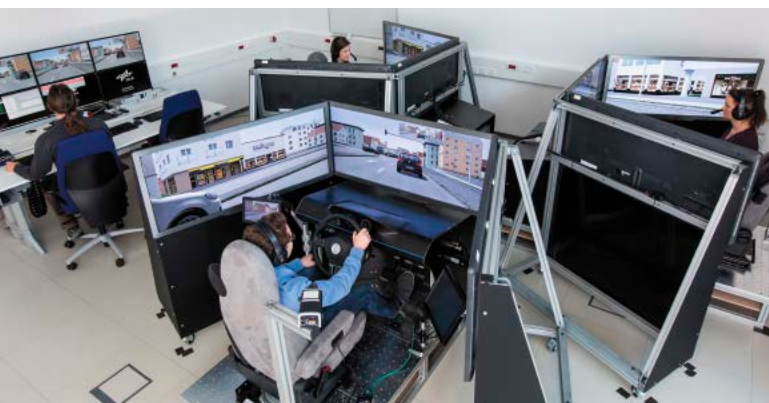
Ein solches Fahrer-Assistenzsystem ist der Ampel-Assistent von IAV Automotive Engineering. Das Unternehmen aus Gifhorn entwickelt und integriert neue Fahrzeugtechnologien sowohl in Eigenregie als auch im Auftrag von Autoherstellern. Der Ampel-Assistent erscheint als Anzeige auf dem Armaturenbrett und teilt dem Autofahrer mit, wie schnell er fahren sollte, damit die Ampel dann auf grün umschaltet, wenn er sie mit seinem Fahrzeug erreicht. Im Idealfall muss der Fahrer das Fahrzeug dabei kaum abbremsen. Das spart Sprit und das Herunterschalten in den ersten Gang. Die im Auto angezeigte Information beruht auf Daten,

die Sendemasten und Ampeln entlang einer Teststrecke auf dem Braunschweiger Altstadttring ins Auto senden. „Wir entwickeln die Software einer solchen Anwendung und testen sie im Fahrsimulator. Aber irgendwann müssen wir mit einer neuen Technik ins Fahrzeug, um sie zu testen“, sagt Daniel Hermann, Teamleiter bei IAV. „Teststrecken, wie AIM sie bietet, sind für uns bei Neuentwicklungen deshalb enorm wichtig.“ Hermann und sein Team interessieren sich besonders dafür, wie Fahrer im Stadtverkehr mit den zusätzlichen Informationen des Ampel-Assistenten zurechtkommen, wie die Anwendung erleichtert werden kann und welche Gefahrenquellen zu berücksichtigen sind. Das Unternehmen, das als Technologie-Entwickler ein Vorreiter für neue Fahrfunktionen ist, plant, die Infrastruktur von AIM noch für weitere Tests zu nutzen. So will IAV den Ampel-Assistenten noch um einen Bremsassistenten erweitern, der das Auto automatisch und energieeffizient in der richtigen Geschwindigkeit zur Ampel oder auch zum Halten bringt. Zudem entwickeln die Ingenieure von IAV eine Start- und Stopp-Funktion der Zündung, damit ein Fahrzeug vor der Ampel rechtzeitig zur Grünphase wieder startklar ist. Diese soll ebenfalls auf der Braunschweiger Referenzstrecke getestet werden.

Auch bei der Car2Car-Kommunikation, die einige Autohersteller ab 2016 einführen wollen, kann sich der IAV-Entwicklungingenieur Hermann die Unterstützung durch die Kommunikation mit einer feststehenden Infrastruktur, wie sie auf dem Braunschweiger Ring aufgebaut ist, gut vorstellen: Car2Car bedeutet zwar, dass Autos untereinander kommunizieren. Eine feststehende Infrastruktur am Fahrbahnrand bietet aber Möglichkeiten für weitere Funktionen. „Die Anlagen entlang der Teststrecke können zum Beispiel zusätzliche Nachrichten über Pannenfahrzeuge, Unfälle, Gefahrenstellen oder sich nähernde Rettungsfahrzeuge senden“, glaubt Hermann. Die Entwicklung steckt hier noch am Anfang. Viele neue Funktionen – davon gehen Ingenieure und Wissenschaftler aus – werden sich ergeben, sobald Fahrzeuge tatsächlich anfangen, „miteinander zu sprechen“.

Testfahrer unter Beobachtung

Bei allen Neuerungen im Fahrzeug stehen die Entwickler vor derselben Herausforderung: Sie müssen nicht nur alle Sicherheitsbelange testen, sondern auch herausfinden, wie neue



Im Simulationslabor MoSAIC fahren mehrere Probanden in derselben Fahrsimulation. So können die Interaktion der Fahrer miteinander und Assistenzsysteme, wie ein Spurwechsel-Assistent, erprobt werden.



Mit dem Modulare Mockup lassen sich unterschiedliche Fahrzeugkonzepte untersuchen. Fahrzeugaufbau, Sitzanordnungen, Anzeigen und Bedienelemente können flexibel ausgelegt werden.



Auf der Referenzstrecke in Braunschweig testen DLR-Verkehrsforscher, wie Ampeln und Fahrzeuge miteinander kommunizieren können

Fahrfunktionen im Fahrzeug angenommen werden. „Bei der Car2Car-Kommunikation fragen sich Autofahrer selbstverständlich zunächst: Kann ich mich auf die Informationen verlassen, die aus einem anderen Fahrzeug kommen?“ , weiß Hermann aus Erfahrung. Das Verhalten im realen Verkehr untersuchen die Forscher im Rahmen von AIM im Projekt „Naturalistic Driving Studies“. Sie erfassen dabei, wann Fahrerinnen und Fahrer blinken, lenken oder Gas geben und messen mit einem Radargerät den Abstand zum Vorderwagen. Sie blicken auch dem Fahrer mit Videokameras über die Schultern – und ins Gesicht, um die emotionalen Reaktionen in verschiedenen Situationen zu erfassen. Die Erhebungen über die Testfahrten werden in einer Datenbank, der sogenannten Fahrerleistungsdatenbank, zusammengeführt und systematisch ausgewertet. Verkehrspsychologen können dann bestimmte Situationen im Verkehr aufrufen und nach kritischen Momenten durchforsten. So wissen Entwickler schnell, ob neue Fahrfunktionen oder Anzeigen auf dem Armaturenbrett in Gefahrenmomenten die Sicherheit erhöhen oder den Fahrer eher verwirren. Wichtig ist, da sind sich Daniel Hermann von IAV und Henning Mosebach, AIM-Fahrzeugverantwortlicher beim DLR, einig, dass Fahrer und Fahrzeug sich verstehen und vertrauen.

Aus dem Fahrsimulator auf die Straße

Bevor Neuerungen im Fahrzeug zum Einsatz kommen, werden sie im Fahrsimulator getestet. Mit MoSAIC bietet AIM ein kooperatives Simulationslabor, in dem mehrere Fahrsimulatoren miteinander verbunden sind. MoSAIC-Projektleiter Gerald Temme beschreibt die Vorteile: „Während im Einzelsimulator der Fahrer nur Situationen ausgesetzt ist, die gescriptet – also von den Entwicklern so vorhergesehen und programmiert – sind, bewegen sich bei MoSAIC drei echte Fahrer gleichzeitig in der virtuellen Welt. Dadurch entstehen ganz neue Situationen, die wir so vorher vielleicht gar nicht bedacht hätten. Zudem können wir beobachten, wie die Fahrer aufeinander reagieren.“

Fahrer-Assistenzsysteme und teilautomatisiertes Fahren stellen die Entwickler vor große Herausforderungen. Schon für kleinere Neuerungen im Fahrzeug sind ausführliche Tests notwendig. Bis ein Fahrzeug autonom mit allen Sicherheitsstandards durch eine Innenstadt fahren kann, sind unzählige und langwierige Tests zu absolvieren. Mit AIM bietet das DLR Werkzeuge an, um diese Tests effizient zu gestalten. Dies geschieht unter anderem durch die enge Vernetzung von Fahrsimulatoren am DLR-Standort in Braunschweig, durch Analysen des Fahrerhaltens und durch die Infrastruktur der Teststrecke auf dem Braunschweiger Ring. Wissenschaftler und Entwickler können Verkehrssituationen und neue Technologien zunächst im Simulator erproben, bevor sie diese in einem zweiten Schritt im realen Verkehr zum Einsatz bringen. Daten der Forschungskreuzung, die den realen allgemeinen Verkehrsfluss abbilden, können mit denen aus einzelnen Fahrzeugen verglichen werden. In der Fahrerleistungsdatenbank werden alle Informationen miteinander verlinkt, sodass Entwickler zum Beispiel Gefahrsituationen systematisch analysieren und Lösungen erarbeiten können.

DAS UNTERNEHMEN IAV

IAV Automotive Engineering ist ein weltweit aufgestelltes Unternehmen mit 5.000 Mitarbeitern im Engineering-Bereich in der Automobilindustrie. Neben dem Hauptsitz in Berlin ist der Technologie-Entwickler an weiteren Standorten in Deutschland, Europa, Asien sowie in Nord- und Südamerika präsent. Gemeinsam mit Automobilherstellern und Zulieferern erarbeitet das 1983 gegründete Unternehmen serientaugliche Lösungen in Bereichen der Antriebsstrang-, Elektronik- und Fahrzeugentwicklung.

Automatisches Fahren in der Stadt bleibt eine große Herausforderung

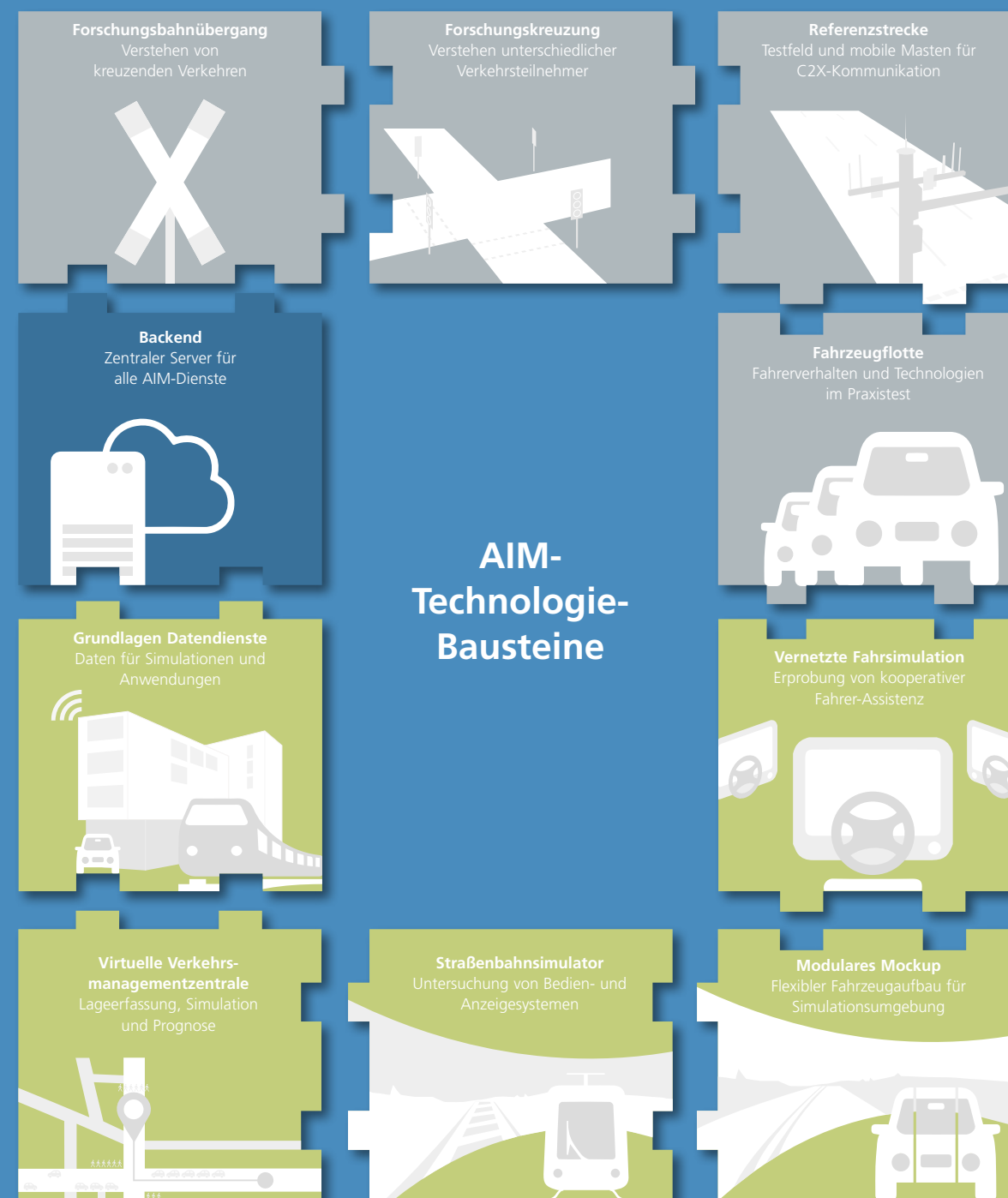
Das Autofahren wird sich in den kommenden Jahren nach und nach verändern, davon gehen Daniel Hermann und Henning Mosebach aus. Auf der Autobahn könnte der Autopilot, der die Steuerung des Fahrzeugs komplett übernimmt, schon in einigen Jahren zur Verfügung stehen. „Fahren auf der Autobahn ist weniger komplex als in der Stadt, wo sich so viele unterschiedliche Verkehrsteilnehmer begegnen. Bis dort Autofahrer dem Fahrzeug das Steuern überlassen können, wird es wohl noch mehr als

zehn Jahre dauern“, schätzt Mosebach. „Aber wir werden in den kommenden Jahren viele kleine Schritte in diese Richtung gehen, zum Beispiel mit Fahrzeugen, die sich auf einem Parkplatz autonom oder mit einem grünlichtoptimierten ACC (Advanced Cruise Control) entlang eines Stadtrings bewegen können.“ ●



Weitere Informationen:
DLR.de/TS/AIM

Im realen Straßenverkehr



In der Simulation

Nach dem Baukasten-Prinzip können die AIM-Technologie-Bestandteile einzeln oder in Kombination zur Beantwortung von Forschungsfragen eingesetzt werden. Damit wird die gesamte Kette der Verkehrsforschung, von der empirischen Datenerhebung über die Simulation bis zur Erprobung im Feld, abgedeckt.

Schneller zum Zug

Mit dem Next Generation Train (NGT) arbeitet das DLR am Konzept für einen Hochgeschwindigkeitszug, der Verkehrszentren miteinander verbindet. Mit dem NGT Link haben die Bahnforscher dieses Konzept nun um einen Zubringer-Zug erweitert, der die Fahrgäste aus dem Umland an die Knotenbahnhöfe bringt. Bei einem gut ausgebauten und gut angebundenen Hochgeschwindigkeitszugnetz erwarten die Forscher im grenzüberschreitenden Verkehr in Europa einen Zuwachs an Fahrgästen von 35 Prozent.

NGT Link: Ein schneller Zubringer verbindet das Umland mit dem Hochgeschwindigkeitsnetz

Von Dorothee Bürkle

Die Reisezeit zwischen Großstädten ist oft erstaunlich kurz. Aber der ICE kann noch so schnell unterwegs sein, wenn es keinen Anschluss an einen ebenfalls zügigen Regionalzug gibt, dauert die Reise unter Umständen zu lange, um sich für die Bahn zu entscheiden. Der NGT Link setzt genau an dieser Stelle an. Das vom DLR entwickelte Konzept sieht einen sieben-teiligen doppelstöckigen Triebwagenzug vor, bestehend aus zwei Endwagen und fünf Mittelwagen, der bis zu 230 Kilometer pro Stunde fahren kann. Auf zwei Etagen bietet der Zug Sitz- und Stehplätze für 2.175 Fahrgäste. „Unsere Idee ist: Wir haben eine Hochgeschwindigkeitsstrecke, mit nur sehr wenigen doppelstöckig ausgebauten Bahnhöfen in den großen Zentren. Aus dem Umland und von kleineren Zentren bringt der NGT-Link die Fahrgäste zum Knotenbahnhof“, erläutert NGT-Projektleiter Dr.-Ing. Joachim Winter.

NGT-Konzept als Alternative zu innereuropäischen Flügen

Egal ob man ein Hochgeschwindigkeitsnetz im bereits gut ausgebauten Europa oder in Australien entwickeln möchte, das Konzept ist immer dasselbe: Ein Schienennetz verbindet die großen Zentren auf dem schnellsten Wege. „Nur so ist die Bahn als Verkehrsmittel konkurrenzfähig“, sagt Winter. Eine Potenzialanalyse des DLR hat ergeben, dass ein gut ausgebautes Hochgeschwindigkeitsnetz viele innereuropäische Flüge ersetzen kann. Bis zu 35 Prozent mehr Fahrgäste kann die Bahn im grenzüberschreitenden Verkehr erwarten, bis zu 27 Prozent im nationalen Bahnverkehr. „Wenn man das Konzept zu Ende denkt, dann kommen auf die Betreiber völlig andere Logistikaufgaben und neue Verkehrsströme zu“, sagt Winter. Die Strecke Wien–Paris kann in einem gut ausgebauten Netz in dreieinhalb Stunden gefahren werden. „Das bedeutet, Fahrgäste können mit dem Zug für einen Geschäftstermin oder auch zum Shopping morgens nach Paris fahren und am Abend wieder zurück. Wenn

wir es dann noch schaffen, die Menschen im Umland schnell an das Netz anzubinden, werden sich dann auch Menschen für eine Bahnreise entscheiden, die das unter den derzeitigen Umständen gar nicht in Erwägung ziehen“, prognostiziert Winter.

Eine entscheidende Rolle spielt beim NGT-Konzept der Bahnhof. „Wichtig ist, dass die Fahrgäste bequem und sofort auf intermodale Verkehrsmittel, zum Beispiel den Regionalzug, das städtische ÖPNV-Netz oder das Fahrrad umsteigen können.“ Im Gegensatz zu einem Flughafen bietet ein Bahnhof dann noch den Vorteil, dass er in der Regel im Stadtzentrum liegt.

Effizient und flexibel mit Hybridantrieb

In den wenigsten Ländern sind heute schon alle Bahnstrecken elektrifiziert. Ein Hybridantrieb soll dafür sorgen, dass der NGT Link die bereits vorhandene Infrastruktur des Streckennetzes nutzen kann. Auf nicht elektrifizierten Streckenabschnitten sollen Batterien die Energie für den Antrieb liefern. „Das Ärgertliche daran ist, dass es uns zum einen gelungen ist, durch Leichtbau einen sehr energieeffizienten Zug zu konstruieren, andererseits müssen pro Waggon drei Tonnen Batterien im Zug mitgeführt werden“, sagt NGT-Projektleiter Winter. Aus diesem Grund sind die DLR-Forscher noch einen Schritt weiter gegangen und haben auch untersucht, wie sich eine hybride Energieversorgung mit Batterien und Brennstoffzellen realisieren ließe. Dabei wird der Zug durch ein 550-Kilowatt-Brennstoffzellen-System

angetrieben. Eine weiterhin mitgeführte, aber wesentlich kleinere Batterie übernimmt dabei eine Pufferfunktion: Bei der Zugbeschleunigung oder bei Steigungen wird die Leistung der Brennstoffzelle mit Energie aus der Batterie ergänzt. Umgekehrt kann die Batterie beim Bremsen durch Rückgewinnung, beispielsweise mit einer Rekuperationsbremse, wieder aufgeladen werden.

Insgesamt reduziert sich das Gewicht des autarken Antriebs dadurch erheblich. Der spezifische Energiebedarf des NGT Link lässt sich so gegenüber einem Dieseltugantrieb wie etwa beim ICE-TD um bis zu 50 Prozent reduzieren. Der Fahrzeughersteller Alstom plant, mit der Unterstützung des DLR, den Dieseltugantrieb Lint bis 2017 mit einem Brennstoffzellenantrieb auszustatten. •



Weitere Informationen:
s.DLR.de/08r7

Schwebeschmelzen auf der Raumstation

Als Alexander Gerst sich von der Internationalen Raumstation (ISS) wieder auf den Heimweg machte, hinterließ er Experimente, deren Fortführung nun seinen Astronautenkollegen obliegt. Dazu gehören Versuche mit einem Induktionsofen aus dem DLR-Institut für Materialphysik im Weltraum.

Für den von Alexander Gerst im Columbus-Modul installierten Induktionsofen fängt alles erst an

Von Prof. Dr. Andreas Meyer

Der Elektromagnetische Levitator (EML) gelangte mit dem europäischen Raumtransporter ATV-5 Georges Lemaître am 12. August 2014 auf die Internationale Raumstation. Der deutsche ESA-Astronaut Alexander Gerst installierte ihn im Columbus-Modul. Hinter den drei Buchstaben EML verbirgt sich ein Induktionsofen, der in Kooperation von ESA, DLR und Airbus Defence and Space basierend auf Levitations- und Messverfahren des DLR-Instituts für Materialphysik im Weltraum entwickelt und gebaut wurde. Mit ihm können metallische Proben frei schwebend induktiv aufgeschmolzen und untersucht werden. Damit ermöglicht er eine Vielzahl von einzigartigen materialphysikalischen Experimenten, die auf der Erde aufgrund der chemischen Reaktivität der Proben oder störender Einflüsse externer Kräfte nicht möglich wären. Das EML-Programm umfasst eine Nutzungsdauer von fünf Jahren mit jeweils 18 Proben im Jahr, an denen jeweils mehrere Experimente durchgeführt werden.

Die Messungen auf der ISS dienen dem grundlegenden Verständnis von Eigenschaften flüssiger Legierungen und deren Erstarrungsmechanismen. In Schwerelosigkeit können die Proben – anders als im irdischen Labor – nahezu kräftefrei positioniert werden. Dies führt unter anderem dazu, dass konvektive Strömungen in den Metallproben unterbunden werden. Die Messung thermophysikalischer Eigenschaften, wie der Viskosität oder der elektrischen Leitfähigkeit ohne externe Kräfte, soll helfen, alte empirische Gesetzmäßigkeiten zu überprüfen. Als Beispiele seien die „Stokes-Einstein-Gleichung“, die den Diffusionskoeffizienten mit der Viskosität verknüpft, und das „Wiedemann-Franzsche Gesetz“ genannt, welches den Zusammenhang zwischen elektrischer und thermischer Leitfähigkeit beschreibt. Die Kenntnis solcher Materialgrößen und deren Zusammenhänge sind zentrale Voraussetzung für das Verständnis des flüssigen Zustands und für die Beschreibung von Gießprozessen. Darüber hinaus soll die Erstarrungsforschung mit dem Levitator helfen, Prozesse im Stahl-Strangguss oder beim endformnahen Gießen für den Leichtbau zu verstehen und zu optimieren. Auch hier ist ein grundlegendes Verständnis der materialspezifischen Vorgänge essenziell, um über ein simulationsgestütztes Materialdesign die Produkte zu optimieren und die Prozesse energie- und kosteneffizienter zu gestalten.

Darüber hinaus erlauben es die EML-Experimente auf der ISS, den realen Wert von Messgrößen zu bestimmen. Zum Beispiel weichen bei den aus der Literatur bekannten Messergebnissen zur Viskosität die Angaben für einige Systeme um mehrere hundert Prozent ab. Dies ist dem Einfluss von Wärme- und Massetransport und der Wechselwirkung mit dem Probenbehälter geschuldet,

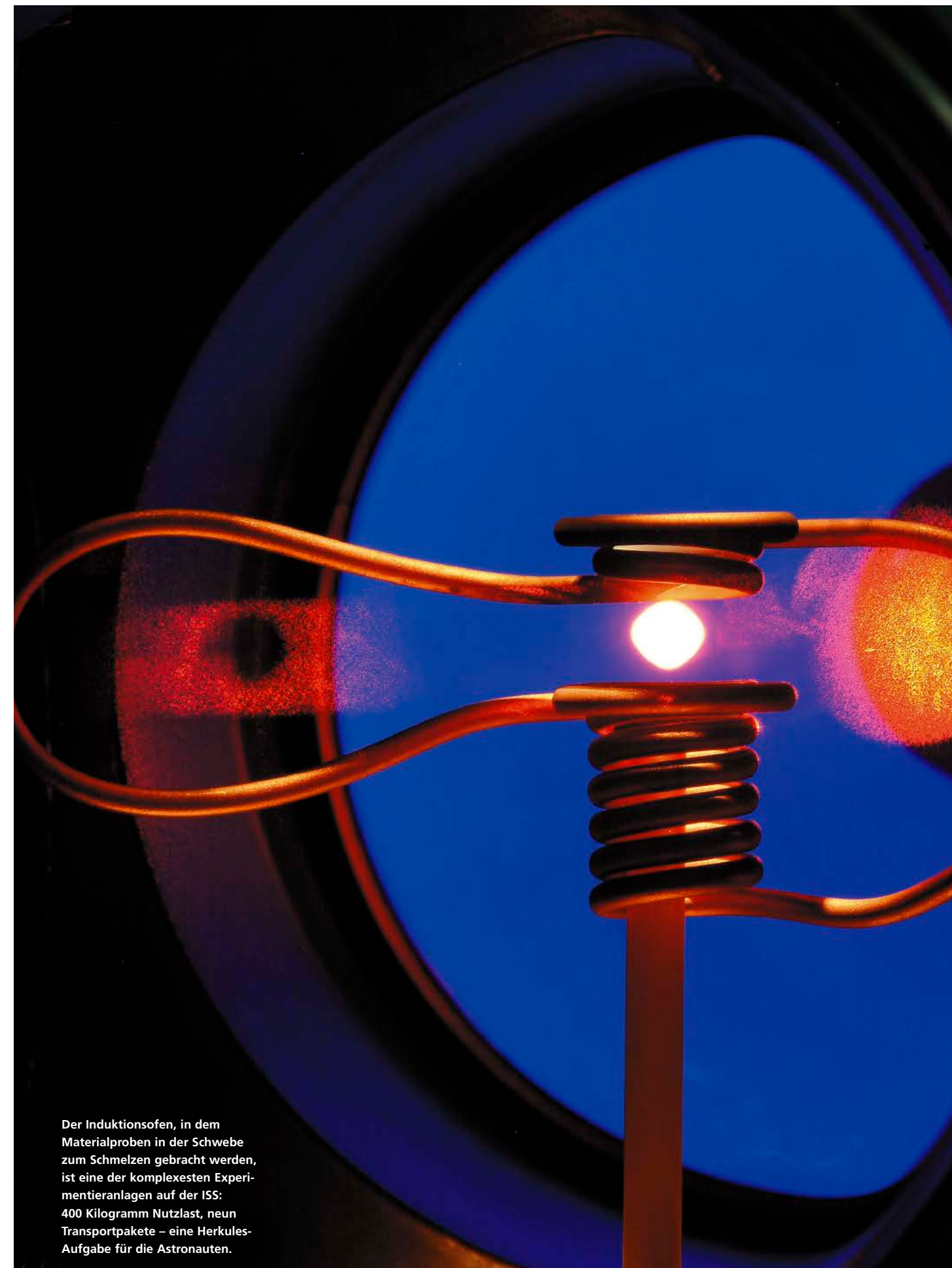
dem die Proben auf der Erde unterliegen. Die Experimente unter Schwerelosigkeit können somit als Eich-Experimente dienen. Sie werden helfen, neue Messmethoden wie die elektrostatische Levitation zu verifizieren und weitere methodische Entwicklungen im Anlagenbau anzuregen.

Hinter den EML-Experimenten stehen internationale Verbundprojekte, die in mehreren Ausschreibungen der ESA ausgewählt wurden. Allein in die Experimente für die ersten zwei Jahre der Nutzung des Induktionsofens sind mehr als 50 Wissenschaftler aus Belgien, Deutschland, England, Finnland, Frankreich, Italien, Österreich, der Schweiz, Spanien, Ungarn sowie Forscher aus Japan, Kanada, Korea, Russland und den USA sowie Unternehmen der metallverarbeitenden Industrie involviert. Das DLR-Institut für Materialphysik im Weltraum hat dabei eine zentrale Rolle inne: Sämtliche EML-Experimente werden von ihm im Auftrag von Astrium Defence and Space an den Bodenreferenzanlagen des Instituts vorbereitet und vom benachbarten Nutzerzentrum für Weltraumexperimente (MUSC) aus auf der ISS ferngesteuert. Dabei sind die DLR-Forscher auch Partner bei den meisten Experimenten, etwa die Hälfte der Experimente entstammt sogar der eigenen materialphysikalischen Forschung. ●



Weitere Informationen:
s.DLR.de/e8u4

Astronaut Alexander Gerst bei Arbeiten am Elektromagnetischen Levitator (EML) im Columbus-Modul der Internationalen Raumstation



Der Induktionsofen, in dem Materialproben in der Schwebeschmelze zum Schmelzen gebracht werden, ist eine der komplexesten Experimentieranlagen auf der ISS: 400 Kilogramm Nutzlast, neun Transportpakete – eine Herkules-Aufgabe für die Astronauten.

Der letzte seiner Art

Das Ende wird feurig sein – im Februar 2015 wird das letzte Automated Transfer Vehicle (ATV) „Georges Lemaître“ in die Atmosphäre eintreten und als funkeln der Feuerball verglühen. Insgesamt fünf dieser europäischen Transportraumschiffe dockten seit 2008 automatisch an der Internationalen Raumstation ISS an, lieferten unter anderem Treibstoff, Luft, Lebensmittel, Ersatzteile und Experimente ins All und sorgten dafür, dass die Raumstation immer wieder auf die richtige Flughöhe gebracht wurde. Zum Ende hin ereilte alle dasselbe Schicksal: Sie flogen als „Mülltransporter“ in Richtung Erde zurück und verglühten beim Eintritt in die Erdatmosphäre. Die Technologie der ATV wird jedoch auch in Zukunft genutzt. Sie soll es bis zum Mond oder sogar darüber hinaus schaffen, als Servicemodul des Orion-Raumschiffs der amerikanischen Weltraumbehörde NASA.

Mit dem Einsatz des fünften europäischen Transportraumschiffs endet das ATV-Programm

Von Manuela Braun

Rein vom Bauchgefühl her hat Volker Schmid es schon damals gewusst, als er in der tropischen, wolkenverhangenen Nacht auf dem Weltraumbahnhof Kourou in Französisch-Guayana stand und in Richtung Startrampe blickte, auf der das allererste ATV kurz vor dem Start stand. „Ich bin mit einem ziemlichen Hochgefühl nach Kourou geflogen. Schließlich sollte das am besten getestete Raumfahrzeug überhaupt starten.“ Im Jahr 2001 hatte Schmid im DLR das Projektmanagement und die Programmbegleitung für den europäischen Raumtransporter übernommen. Schon seit 2004 hatte es bei den Partnern regelmäßig geheißen: „Noch ein Jahr bis zum Start!“ Doch der Raumtransporter, dessen Bau auf der ESA-Ministerratskonferenz 1995 beschlossen worden war, erwies sich als keine einfache Angelegenheit und die Testanforderungen waren immens hoch. „Einige Treibstoffventile mussten im Test zum Beispiel über 40.000 mal ohne Schaden geschaltet werden“, erinnert sich Schmid. „Dabei wurden diese im tatsächlichen Betrieb nur einige hundertmal geschaltet.“ Man wollte auf Nummer sicher gehen, damit das Transportfahrzeug, mit dem die Europäer ihren Anteil an der Internationalen Raumstation erbrachten, ein Erfolg werden würde.

Marathon für ein komplexes System

Und immer wieder diese Besprechungs-marathons und Treffen zur Technik des ATV. Vor allem über die Verteilung der Arbeitspakete an die beteiligten Länder diskutierten die Partner immer wieder. Mit diesen Aufträgen wurde schließlich Geld in die jeweiligen Länder gegeben, Know-how und Expertise sollten entstehen und Deutschland sollte dabei natürlich seinem finanziellen Beitrag entsprechend berücksichtigt werden. Die Umsetzung aller Anforderungen musste besprochen werden und die Partner vom DLR Raumfahrtmanagement, der ESA und der Industrie mussten eine gemeinsame Sprache und Lösungen finden. Dutzende Unternehmen und hunderte Techniker und Ingenieure aus zehn europäischen Ländern waren im Projekt „Automated Transfer Vehicle“ involviert. „So etwas wie das ATV, so ein extrem komplexes System, hatten wir in Europa vorher noch nie umgesetzt.“ Mit Europa und zusätzlich den Ländern USA und Russland saßen drei große, unterschiedliche Partner in einem Boot – und jeder brachte seine eigene Philosophie, seine eigene Arbeitsweise mit. Ein russisches Radarsystem auf einem westlichen Transporter, anspruchsvolle Flugsoftware, verschiedene Arten von optischen Sensoren, Radiokommunikation, GPS – das alles musste reibungslos zusammenspielen, damit das ATV in rund 400 Kilometer Höhe automatisch am russischen

Auf dem Weg zur Internationalen Raumstation: Der Transporter ATV-5 bringt unter anderem Treibstoff, Luft, Lebensmittel, Ersatzteile und Experimente.



Seit dem Jahr 2008 versorgten insgesamt fünf ATV die Astronauten im All (im Bild oben: ATV Albert Einstein). Mit dem Ende des Programms erhält diese Technologie eine neue Bestimmung. Sie wird als Servicemodul ESM (European Service Module) der amerikanischen Orion-Kapsel (Bild unten) auf dem Flug ins All als Antrieb sowie Wasser- und Sauerstofflieferant dienen.



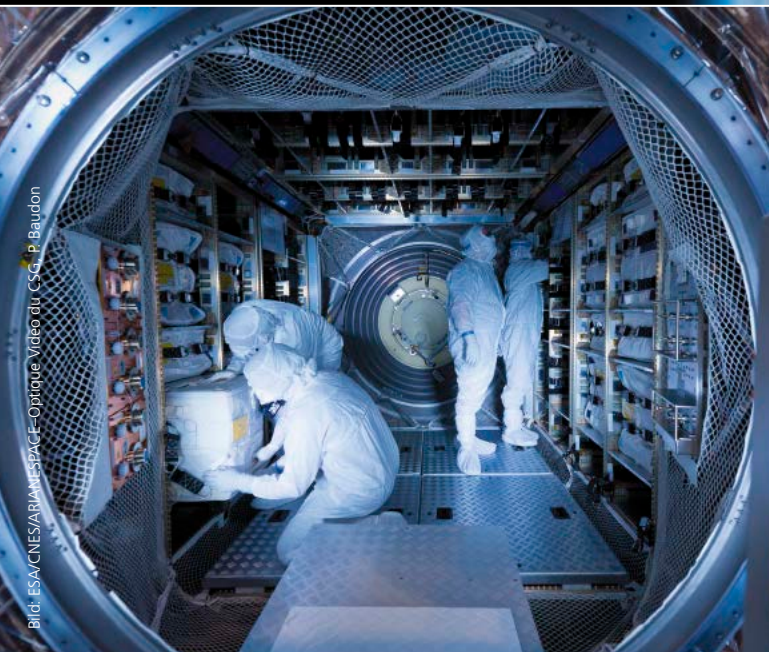
Swesda-Modul der ISS andocken konnte. „Mal gab es Probleme mit den optischen Sensoren, mal mit den Stellmotoren der Solarpaneele. Manchmal hatte man das Gefühl, es ‚brennt‘ überall gleichzeitig. Die zusätzlichen Anforderungen der internationalen Partner, die relativ spät in der Entwicklungsphase noch dazu kamen, waren ebenfalls eine große Hürde, die wir meistern mussten“, erinnert sich Volker Schmid.

„Die Kiste lebt!“

Beim Nachtstart in Kourou war dieses Gefühl dann schnell verschwunden. Schließlich entfalteten sich die Solarpaneele planmäßig, die Antenne fuhr aus und die ersten Telemetriedaten erreichten das Team am Boden. „Da wussten wir: Die Kiste lebt!“ Im All selbst wurde „Jules Verne“ dann ausgiebig auf die Probe gestellt: Bei mehreren Probeanflügen an die ISS testeten die Ingenieure, ob das ATV wie geplant autonom auf die verschiedensten Situationen reagieren würde. Gleich drei fehlertolerante Bordcomputer fällen dafür eine Art demokratische Entscheidung, wie sich das ATV beim Rendezvous im All verhalten soll. Der erste Haltepunkt liegt rund 40 Kilometer hinter und fünf Kilometer unter der ISS. In einer Entfernung von nur noch rund 250 Metern werden dann die optischen Sensoren – die Laserentfernungsmesser und Videokameras – aktiviert. Auch das Andockmanöver selbst erfolgt autonom – unter den wachsamen Augen der Astronauten, die das Andocken manuell unterbrechen könnten, wenn Gefahr drohen würde.

Alarm, kleine Pannen und Erfolgsmeldungen

20 Kilogramm Atemluft, 281 Kilogramm Trinkwasser und 1.200 Kilogramm Nahrung, Kleidung und Ersatzteile lieferte der erste europäische Raumtransporter unter anderem zur Raumstation und verbrachte insgesamt 205 Tage im All. Das ATV-Programm war erfolgreich gestartet, und Europa hatte einen direkten Zugang in den Weltraum. Das Ergebnis der Mission: „Natürlich auch jede Menge Erfahrungen und ‚lessons learned‘ für die folgenden europäischen Raumtransporter“, sagt Projektmanager Schmid. So wurde während des Starts eine außen angebrachte Isolationsfolie teilweise in Mitleidenschaft gezogen, ein Druckregulator versagte und während des Fluges gab es etliche Alarmmeldungen – „die meisten davon waren aber völlig unkritisch und sind eigentlich normal beim ersten Einsatz eines neuen Raumfahrzeugs.“ Man müsse schließlich auch das System erst kennenlernen. „Viele Betriebsgrenzen sind aus Sicherheitsgründen oftmals enger gesetzt als notwendig ...“ Intensiv analysierten die Techniker den ersten Einsatz eines ATV, damit die Ergebnisse direkt in das nächste ATV „Johannes Kepler“ einfließen konnten. Das befand sich nämlich bereits im Bau und startete schließlich 2011.



Der europäische Transporter ATV bleibt über mehrere Monate an der Raumstation andockt (im oberen Bild ganz oben). Vor dem Flug ins All wurde die Fracht sorgfältig verpackt und verstaut (Bild Mitte). Für die Entladung sorgen die Astronauten nach einem ausgeklügelten Plan – hier im Bild der deutsche Astronaut Alexander Gerst.

Automatisch nähert sich das ATV der Raumstation und dockt mit hoher Präzision an (Bild rechts). Seine letzte Bestimmung: Vollgeladen mit den Abfällen der ISS verglüht der Raumtransporter beim Wiedereintritt in die Erdatmosphäre.

„Jedes der fünf Vehikel hatte seine Eigenarten, seine kleinen Anomalien und seine Rekorde.“ ATV „Jules Verne“ vollbrachte das erste automatisierte Rendezvous- und Andockmanöver eines europäischen Raumfahrzeugs, wurde bei einem Ausweichmanöver vor Weltraumschrott eingesetzt und hatte dafür aber mit 4.575 Kilogramm nur eine vergleichsweise geringe Nutzlast. Nummer 2 – „Johannes Kepler“ – sorgte mit insgesamt 50 Kilometern für die stärkste Bahnanhebung seit den Apollo-Missionen und brachte mit 7.100 Kilogramm Nutzlast die umfangreichste Fracht zur Raumstation. Zudem konnte erstmals Fracht zu einem Zeitpunkt geladen werden, als das ATV bereits auf der Ariane-Rakete installiert war. „Wir waren mit dieser ‚late load‘ flexibler bei der Beladung.“ Dafür allerdings fuhr die große Kommunikationsantenne des ATV-2 nach dem Start nicht vollständig aus. In der Kälte des Weltalls war schlichtweg ein Kabel zu steif und hatte sich gegen die erforderliche geschmeidige Bewegung gestäubt. Funktioniert hat die Antenne aber dennoch.

Das ATV-3 „Edoardo Amaldi“ blieb für die Rekordzeit von 184 Tagen an der ISS andockt und folgte seinem Vorgänger bereits nach nur einem Jahr. Das vierte ATV – „Albert Einstein“ – dockte mit einer bisher unerreichten Genauigkeit an der Raumstation an: Zielstrebig mit einer Kursabweichung von weniger als fünf Zentimetern flog es autonom auf die ISS zu und legte in Perfektion am russischen Swesda-Modul an. Während des Starts am 5. Juni 2013 zeichnete außerdem ein System aus vier Kameras die Trennung des ATV von der Ariane auf – aus den Videodaten wurde erstmals ein 3-D-Film von diesem Moment aufbereitet.

Das Ende einer Ära

Das fünfte ATV „Georges Lemaître“ befindet sich noch bis zum Frühjahr 2015 an der Raumstation. Ein Abschied auf Raten hat begonnen. Der letzte Start eines ATV am 30. Juli 2014, das letzte Andocken am 12. August und schließlich das feurige Ende, das im Februar 2015 kommen wird. Nicht nur für DLR-Projektmanager Volker Schmid geht dann eine Ära zu Ende, sondern auch für alle Beteiligten in der Industrie. Schmid stand auch dieses Mal in Kourou und sah in Richtung Startrampe, als mit „Georges Lemaître“ das allerletzte ATV abhob. Dieses Mal waren neben Dingen des alltäglichen Weltraumlebens wie Kaffee oder Käsepatzle sowie Nachschub in Form von Treibstoff, Wasser und Atemluft auch Experimente wie der Elektromagnetische Levitator EML, ein Schmelzofen, mit an Bord. Der deutsche Astronaut Alexander Gerst saß im Inneren der Raumstation an der Steuerkonsole – bereit, sofort einzugreifen, falls der vollautomatische Anflug und die letzte Annäherungsphase bei 28.000 Kilometern in der Stunde fehlschlagen würde. Doch auch das ATV-5 absolvierte das Manöver präzise und auf den Punkt genau.

Die letzte Aufgabe wird das ATV-5 bei seinem zerstörerischen Wiedereintritt in die Atmosphäre erfüllen: Die mit dem DLR entwickelte Break-Up-Kamera BUC der ESA wird dann aus dem Innenraum heraus Infrarotbilder von „Georges Lemaître“, von den letzten 20 Sekunden im „Leben“ des ATV-5, aufzeichnen und sie nach dem Auseinanderbrechen des ATV zur Erde senden. Damit wollen die Wissenschaftler den Moment untersuchen, in dem sich das ATV aufheizt und in Einzelteile zerfällt. Wichtig wird dieses Wissen, wenn die Lebensdauer der Internationalen Raumstation ISS abläuft und sie gezielt zum Eintritt in die Erdatmosphäre gebracht werden muss. Für „Georges Lemaître“ bedeutet dies: Das ATV muss in einem besonders flachen Winkel in die Atmosphäre eintreten, um so das Verglühen der ISS zu simulieren. Neben der BUC-Kamera werden noch zwei weitere Instrumente an Bord des ATV sowie etliche Teleskope von der Erde und von der ISS aus genau hinschauen, wenn das ATV-5 seinen letzten großen Auftritt hat.

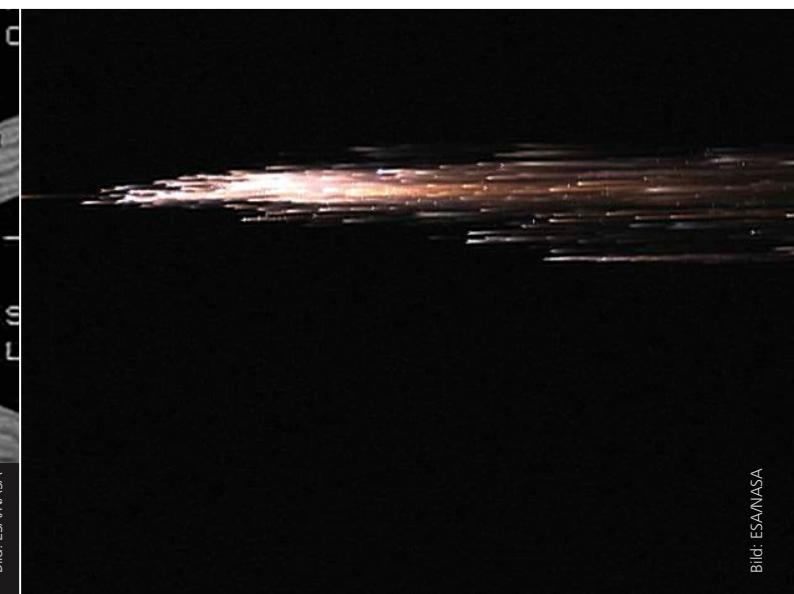
Ende mit Zukunft

„Mit dem Ende des höchst erfolgreichen europäischen ATV-Programms werden die internationalen Partner mit den amerikanischen Dragon- und Cygnus-Transportern, der russischen Progress und dem japanischen HTV den europäischen Anteil der ISS-Versorgung ausgleichen müssen.“ Das ATV wird fehlen. „Das war schon eine Entwicklung, wie sie noch nie dagewesen ist.“ Die Entscheidung gegen ein sechstes ATV fiel 2011 im ESA-Rat – mit dem Ziel, die erworbenen Kenntnisse weiterzuentwickeln für eine Reise bis zum Mond. Die Technik des ATV soll im Servicemodul der amerikanischen Orion-Kapsel eingesetzt werden. „Damit liefert Europa dann Antrieb, Energieversorgung, Thermalkontrolle und Tanks für Wasser und Sauerstoff für Explorationsmissionen, die über den Erdbereich hinausgehen.“

Die erste Mission der Orion wird allerdings noch ohne das „European Service Module“ (ESM) zu einem Testflug der Kapsel in 5.700 Kilometer Höhe starten – fast 15 Mal weiter entfernt von der Erde als die Internationale Raumstation. Ende 2017 könnte es ernst werden für das europäische Servicemodul: Die Weiterentwicklung der ATV soll dann unter der Orion-Kapsel als unbemannte Mission einmal um den Mond kreisen und anschließend wieder zur Erde zurückkehren. „Das Servicemodul soll auch bei der folgenden geplanten bemannten Mission 2021 zum Einsatz kommen, wenn Europa beschließt, diesen Weg mit den USA weiterzugehen“, sagt Volker Schmid. Das Ende des europäischen ATV ist somit nicht nur ein Ende – sondern auch ein Neuanfang, bei dem Europa vielleicht bis zu vier Astronauten in der Orion-Kapsel zum Mond befördern könnte. ●



Weitere Informationen:
s.DLR.de/a387



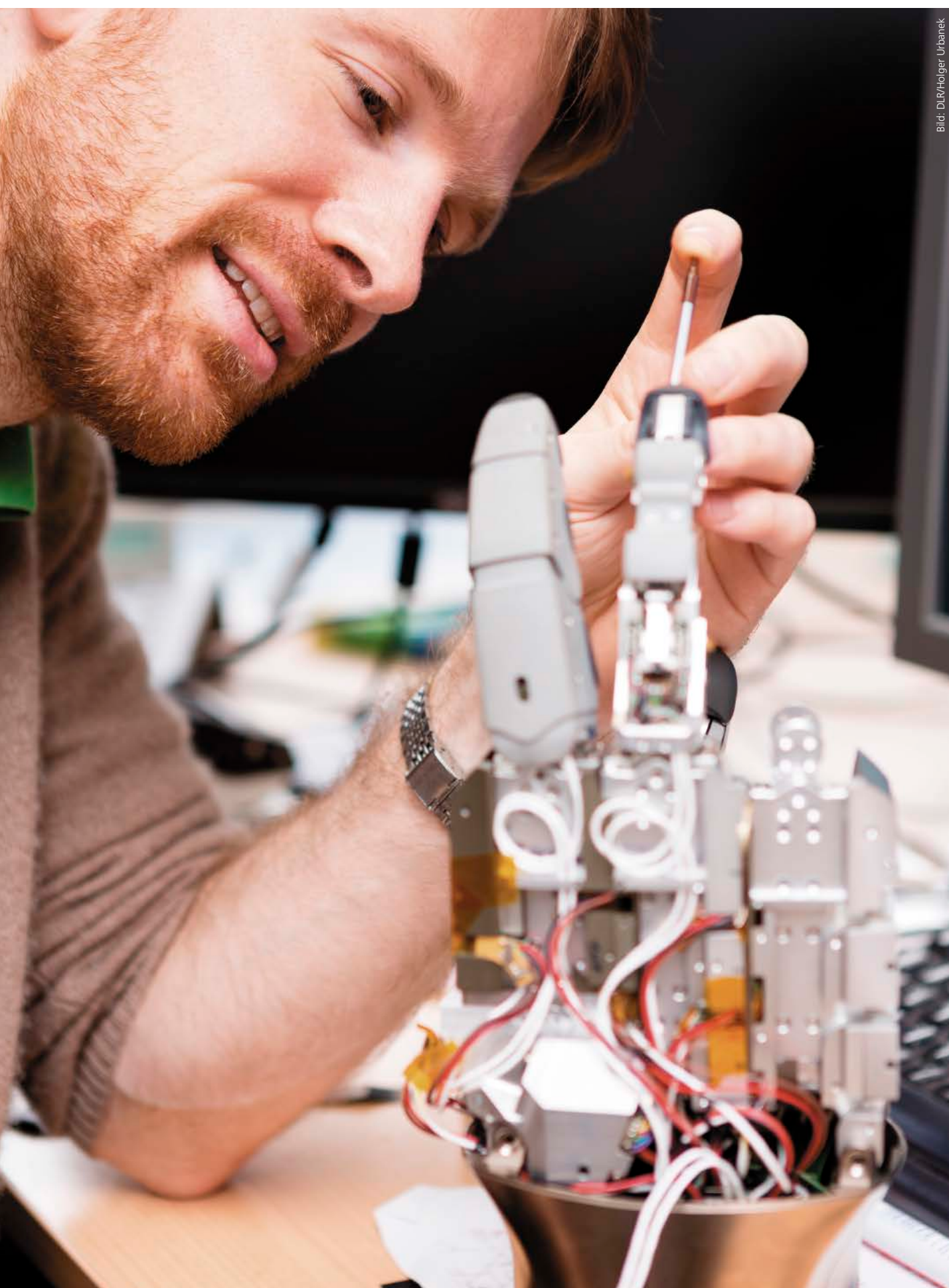


Bild: DLR/Holger Urbanek

Den Widerstand spüren: Um Menschen effektiv zu unterstützen, müssen Roboter mit Feingefühl greifen können – wie die DEXHAND des DLR.

Fern vom Geschehen und doch ganz nah

Wartungsarbeiten an Raumstationen durchführen, komplette Habitate auf fernen Planeten aufbauen oder auch taumelnde Satelliten einfangen. – Für solche Aufgaben wäre ein Helfer ideal, der den Menschen unterstützt. Einer, der das Ganze feinfühlig, intelligent und in perfekter Kooperation mit dem Menschen durchführt. Das Institut für Robotik und Mechatronik forscht deshalb daran, das Zusammenspiel von Mensch und Maschine selbst über weite Entfernungen hinweg zu ermöglichen. Dafür braucht es Roboter, die nach Kommandos möglichst selbstständig arbeiten (Teleoperation), und Technologien, die den Menschen virtuell ganz dicht ans Geschehen bringen (Telepräsenz). Angefangen hat alles zu Beginn der Neunzigerjahre mit den ersten Fernsteuerungskommandos in Richtung All. In Zukunft sollen aber beispielsweise Astronauten auch aus einem Raumschiff einen Roboter auf anderen Himmelskörpern steuern können.

Experimente für Teleoperation und Telepräsenz im Weltall

Von Manuela Braun

Der Moment, in dem das Wort „Fernbedienung“ eine neue Bedeutung erhielt, war an einem Tag im Jahr 1993. Damals saß Klaus Landzettel vom Institut für Robotik und Mechatronik an einer Sensorkugel – und ein Roboterarm fing einen kleinen schwebenden Würfel ein. Das Ungewöhnliche: Die Sensorkugel zur Steuerung des Roboters stand in einem Kontrollraum des Deutschen Raumfahrtkontrollzentrums im DLR Oberpfaffenhofen. Greifer und Würfel kreisten mit der Spacelab-Mission in einem Spaceshuttle um die Erde. Die erste Fernsteuerung eines Roboters im Weltall war mit dem Experiment ROTEX (Robot Technology Experiment) gelungen: Mensch und Maschine arbeiteten über eine enorme Distanz hinweg zusammen.

Steuern mit Zeitverzögerung

Sechs bis sieben Sekunden dauerte es jeweils, bis das Team am Boden über die Datenverbindung eine Antwort von ihrem Roboter aus dem All erhielt. „Fürs Autofahren würde das bedeuten: Ich drehe am Lenkrad und erst mehrere Sekunden später folgt der Wagen diesem Kommando“, sagt Landzettel. „So zu arbeiten, ist sehr kompliziert.“ Ein Grafikprogramm am Boden simulierte deshalb die Vorgänge im All und kompensierte dabei die Zeitverzögerung beim Datenaustausch mit ROTEX. Landzettel setzte im Weltraum mit dem Greifer erfolgreich einzelne Bauteile zusammen, fügte Stecker ein und fing den schwebenden Würfel.

Auch wenn der ROTEX-Greifer nicht besonders filigran aussah, ausgestattet war er mit Distanz-, Kraft-, Momenten- und Tastsensoren, die ihn zu einem feinfühligem Arbeitsinstrument machten. So sensibel war zuvor wahrscheinlich noch kein Greifer konstruiert worden. Zur Kontrolle sendeten Kameras vom Greifer sowie aus dem Inneren der Anlage zusätzliche Videobilder zur Erde. Mal arbeitete ROTEX automatisch nach vorprogrammierten Befehlen, mal wurde er vom Boden gesteuert und unterstützte

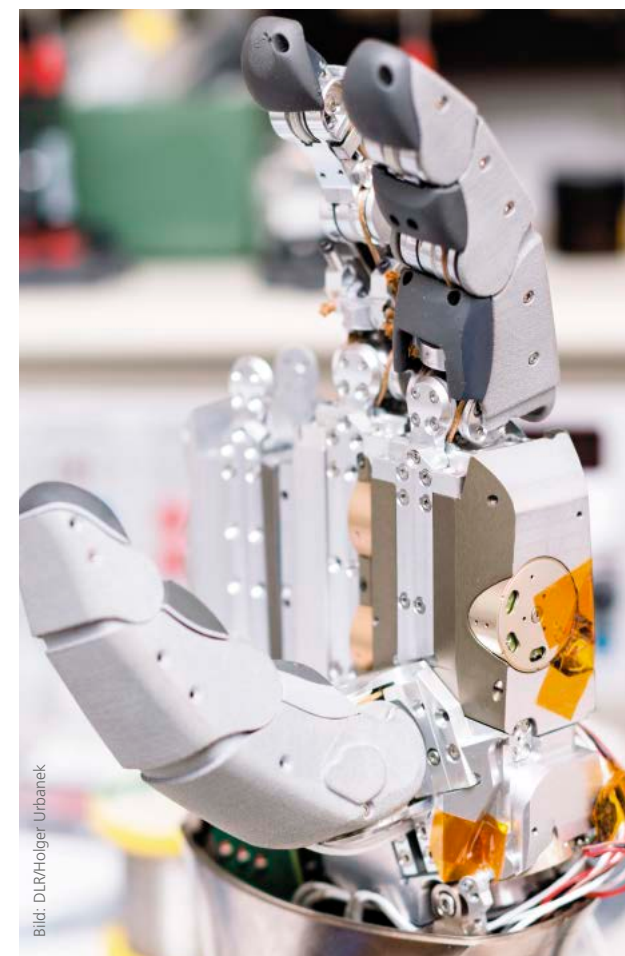
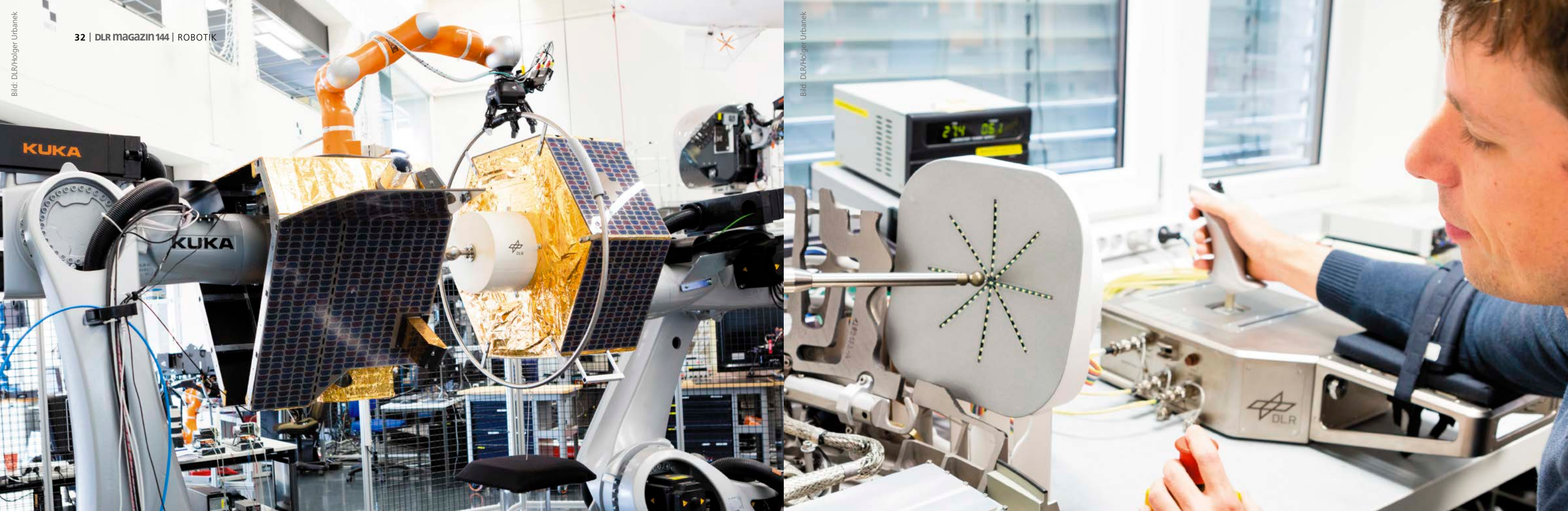


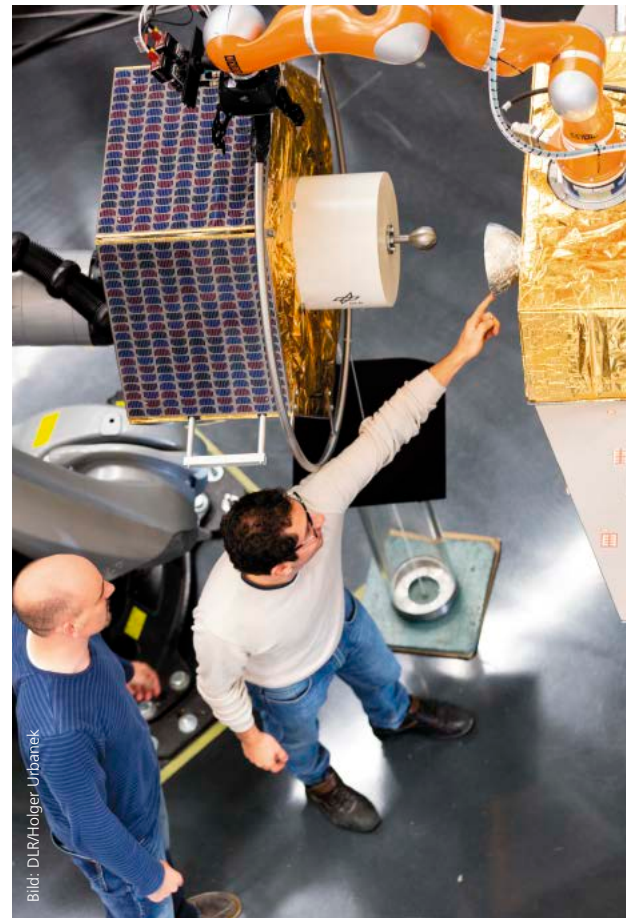
Bild: DLR/Holger Urbanek

Die DEXHAND ist die erste für den Weltraum qualifizierte Hand



Testlauf der DEOS-Anlage (DEOS – Deutsche Orbitale Servicing Mission): Ein Roboterarm könnte im All beispielsweise einen taumelnden Satelliten greifen und einfangen.

Nach dem Einfangen könnte der Wartungssatellit an einem defekten Satelliten andocken



seinen Bediener mit der eigenen Maschinenintelligenz – und verfeinerte zum Beispiel grobe Positionierungskommandos mit Hilfe seiner eigenen Sensorinformationen. Die erste Teamarbeit zwischen Mensch und Maschine funktionierte. Schon damals war klar: Mit dieser Technologie könnte man auch taumelnde Satelliten im Weltall greifen oder Reparatur- und Wartungsarbeiten im freien Weltall durchführen.

Schnelle Verbindung zur ISS

An die Momente, in denen er den Greifer im All steuerte, erinnert Landzettel sich gut. „So ein Erlebnis hat man ja nicht oft in seinem Leben.“ Doch im April 2005 war er erneut im All präsent. Zumindest per Fernbedienung. Die Ingenieure des DLR hatten ROKVISS (Robotik-Komponenten-Verifikation auf der ISS) zur Internationalen Raumstation geschickt, um die Weltraumtauglichkeit dieser Technologie zu demonstrieren. Der 50 Zentimeter große und sieben Kilogramm schwere Roboterarm wurde an der Außenseite der ISS montiert und Landzettel konnte mit ihm direkt aus dem All auf die Erde blicken – ohne diese jemals zu verlassen. Er saß weiterhin in einem Kontrollraum bei den großen Send- und Empfangsantennen des DLR in Weilheim. „Wir konnten die Kamera schwenken und aus rund 400 Kilometer Höhe wie ein Astronaut nach unten blicken.“

Über einen Joystick bewegte er bei den mehrminütigen ISS-Überflügen den Roboter, ließ ihn mit Kraft an einer Metallfeder ziehen, fuhr mit dem Metallfinger von ROKVISS komplizierte und geschwungene Bahnen ab. In Echtzeit spürte er damals all das, was auch der Roboter bei der Bewegung seiner zwei Gelenke und seines Metallfingers spürte. Für diese Teamarbeit zwischen Erde und All mussten also beide aufeinander eingehen – nicht nur der Roboter empfing die Kommandos von der Erde, auch Landzettel spürte am Joystick die Kräfte, die auf den Roboter

Fernbedienung aus dem All: Roboter ROKVISS (links) soll sich im Frühjahr 2015 über einen Joystick (rechts) steuern lassen, der sich auf der Internationalen Raumstation ISS befindet.

im Weltall einwirkten. Nun, mehr als zehn Jahre nach ROTEX, betrug die Zeitverzögerung über eine schnelle Datenverbindung nur noch etwa 20 Millisekunden; das Robotersystem war direkt mit der Funkanlage verbunden.

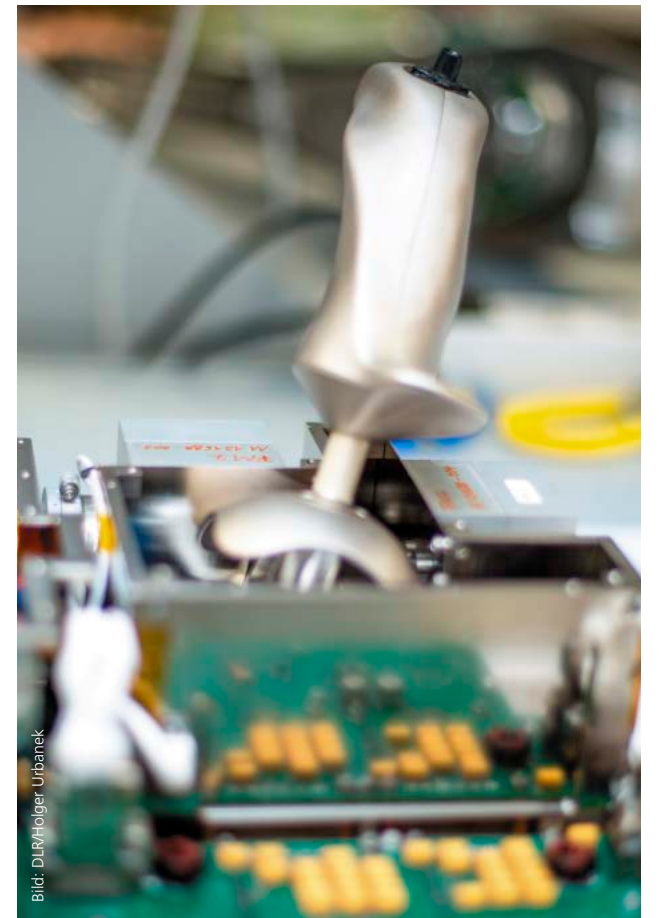
Zuvor hatten die Ingenieure den Roboterarm im März bereits vorprogrammierte Kommandos ausführen lassen und so den automatischen Modus getestet. Mehr als fünf Jahre lang wurde ROKVISS an der ISS betrieben. Die Möglichkeit, im freien Weltall über längere Zeit hinweg mit Teleoperation und Telepräsenz zu arbeiten, war somit unter Beweis gestellt.

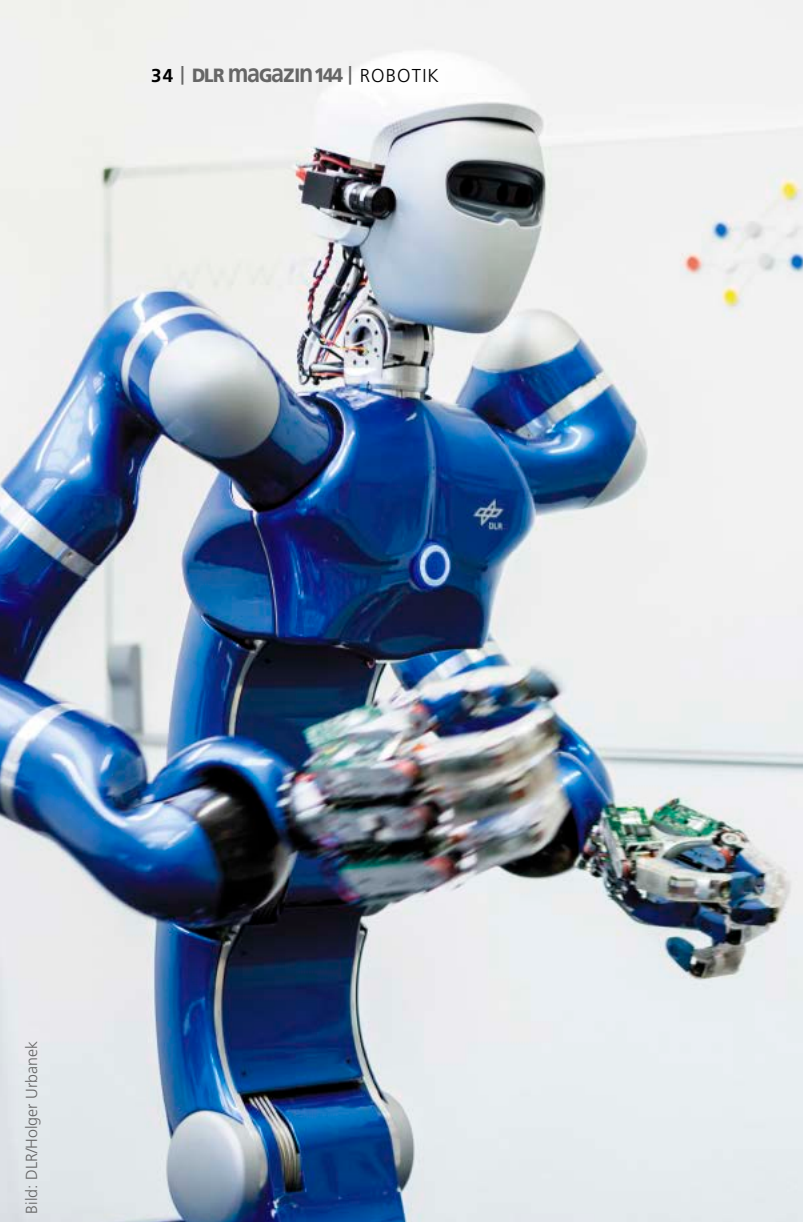
Vom All zur Erde

Heute, zehn Jahre später, steht der ROKVISS-Roboter auf der Fensterbank im Labor von Cornelia Riecke und Martin Stelzer. Der Veteran wird wieder gebraucht – dieses Mal aber auf der Erde. On-board-Computer und Antenne von ROKVISS an Bord der ISS sind ebenfalls noch betriebsbereit. Aus ROKVISS wird nun Kontur-2, ein Experiment, bei dem dieses Mal die Richtung umgekehrt wird: Der Joystick befindet sich dann im All und der Roboter auf der Erde. Noch stehen Roboterarm und Steuerung in dem Robotik-Labor Seite an Seite. Im Februar 2015 soll sich das jedoch ändern: Dann startet der Joystick Kontur-2 zur ISS und wird im russischen Modul installiert. Von dort aus soll ein Kosmonaut mit dem Joystick aus der ISS heraus den Roboterarm in Oberpfaffenhofen steuern.

Martin Stelzer schließt vorsichtig die Hand um die Steuerung. Langsam fährt der Metallfinger des ROKVISS-Roboters entlang einer Metallkontur. Bei jeder Berührung mit dem Metall spürt Stelzer einen Widerstand am Joystick, dann weiß der Operator: Die Bahn, auf der er den Metallfinger führen soll, hat er nicht zu hundert Prozent abgefahren, sondern ist gegen eine Metallkante gestoßen. Hat er den Roboterarm dabei kraftvoll anecken lassen,

Der Joystick wird den Astronauten auch eine Rückmeldung geben, ob der Roboter am Boden zum Beispiel einen Widerstand verspürt





Roboter Justin wird über einen Tablet-PC gesteuert und liefert seinem Operator auch den Blick aus seinen Roboter-Augen

ist auch der Widerstand am Joystick stärker zu spüren. „In der Schwerelosigkeit des Weltalls ist das für den Kosmonauten aber nicht ganz so einfach“. Um auf den Joystick Kraft auszuüben und die Kraftrückmeldung wahrzunehmen, muss sich der Kosmonaut in der ISS mit seinen Füßen in Bodenlaschen gut fixieren und seinen Arm mit einer Manschette an der Armauflage des Joysticks befestigen. Eine zentrale Frage des Kontur-2-Experiments wird sein, wie komfortabel sich der kraftreflektierende Weltraum-Joystick bedienen lässt.

Randbedingungen mit Limits

Wichtig ist aber vor allem der Kommunikationskanal in Richtung Erde: „Während des Überflugs der ISS ändert sich die Zeitverzögerung, es können auch Datenpakete bei der Verbindung verloren gehen, und die Bandbreite der Funkverbindung ist limitiert – mit diesen Randbedingungen müssen wir leben.“ Die Rahmenbedingungen sind also nicht perfekt und dennoch muss die Telepräsenz gut funktionieren, wenn sich der Roboter aus dem Weltall gesteuert bewegt. „Wir können zum Beispiel nur wenige Daten zur ISS hochschicken.“ Trotzdem soll der Kosmonaut an Bord der ISS sechs unterschiedliche Aufgaben erfolgreich mit dem Roboter auf der Erde ausführen, er soll spüren, wie der ROKVISS-Roboter am Boden reagiert, wenn er beispielsweise an einer Metallfeder zieht, und er soll über ein Kamerabild die Ausführung seiner Kommandos sehen können.

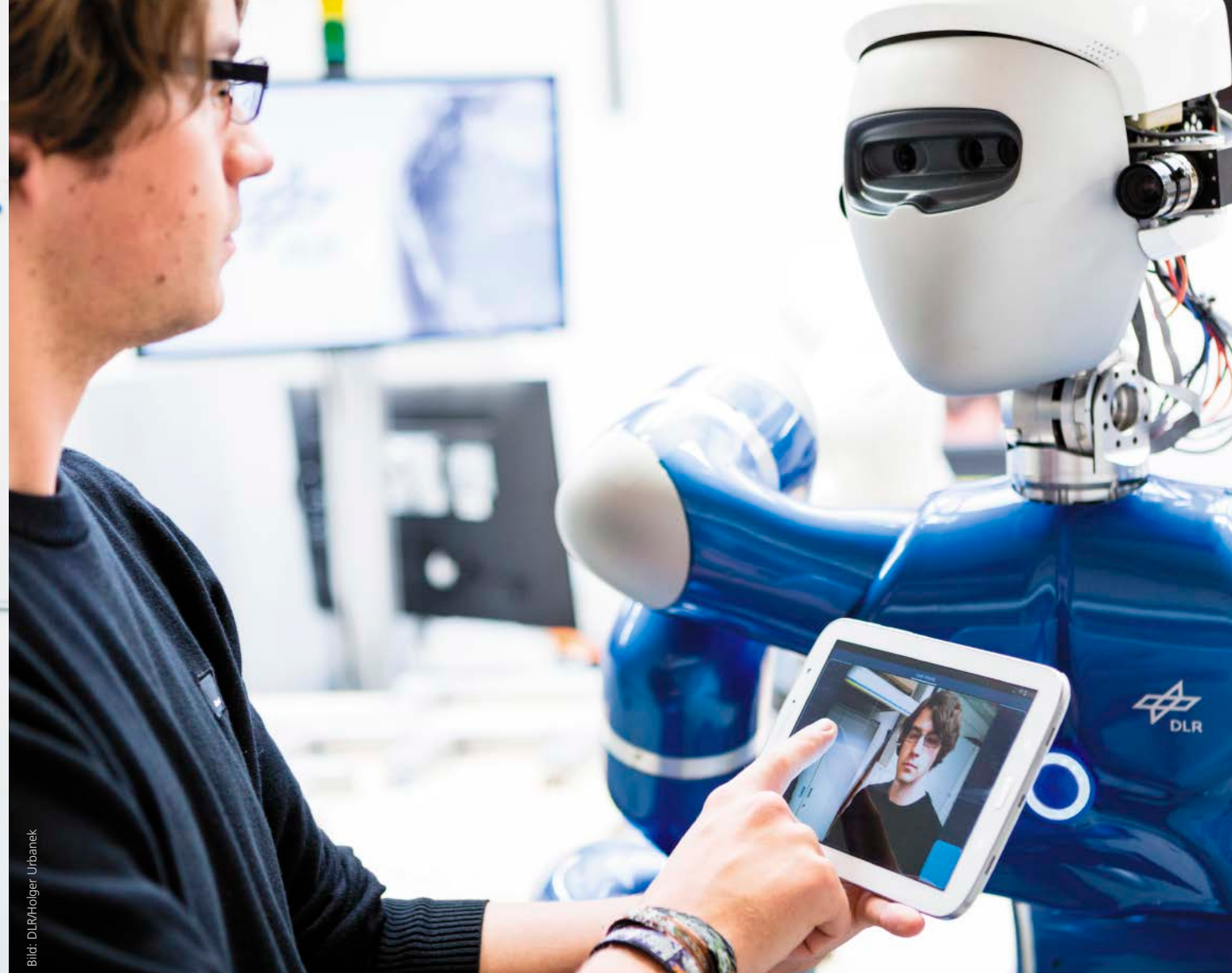


Bild: DLR/Holger Urbanek

Zum ersten Mal kommen so Astronauten mit Telepräsenz in Kontakt. „Wir sind einfach noch nicht so weit, dass ein Roboter alle Aufgaben komplett selbstständig erfüllen kann“, sagt Institutsleiter Prof. Alin Albu-Schäffer. „Manche Aufgaben sind zu knifflig, und die Einschätzung und Fähigkeiten des Menschen müssen durch die Telepräsenz hinzukommen, um die Aufgaben auch bei schwierigen Umgebungsbedingungen zu bewältigen.“ Für die rechte Unterstützung benötigt der Mensch dann aber eben die Rückmeldung, eine Kraftrückkopplung, damit er möglichst nahtlos und realistisch in die Welt des Roboters eintauchen und ihn effektiv steuern und unterstützen kann. Dabei soll er außerdem die Zeitverzögerung fast gar nicht bemerken.

Für Missionen auf anderen Planeten ist dies kaum möglich. „Die Rover auf dem Mars können heutzutage immer nur kurze Wegstrecken fahren und erhalten dann erst wieder die nächsten Kommandos“, erläutert Albu-Schäffer. Steuern in Echtzeit von der Erde aus – ausgeschlossen. Dafür sind die Übertragungszeiten schlichtweg zu lang. „Die Lösung für dieses Problem ist im Prinzip einfach: Astronauten steuern aus dem Orbit um einen Planeten einen Roboter auf dessen Oberfläche und sind über Kraftrückkopplung mit ihm verbunden.“ Schließlich ist es auch kostengünstiger, einen Menschen in einen Marsorbit zu bringen, als ihn auf der Marsoberfläche landen zu lassen.

Beispiel die Tasse nicht richtig stand, konnte er seine Aufgabe nicht umsetzen.“ Das hat sich mittlerweile geändert: Der Roboter kann jetzt auch selbst bei einem Abbruch der Datenverbindung weiter planen und ausführen.

Marsstimmung auf der Erde

Bereits in einem Jahr, im Oktober 2015, soll ein Astronaut im Weltall das Gefühl bekommen, er steuere Justin über den Mars, um defekte Solarpaneele für das Marshabitat zu reparieren. Im DLR Oberpfaffenhofen werden dann Marsbilder und mehrere aufgestellte Paneele für einen möglichst realistischen Eindruck sorgen. Daniel Leidner nimmt einen Tablet-PC vom Tisch. Der Astronaut soll damit später auch aus dem All den Roboter auf der Erde steuern.

„Die erste Aufgabe ist es, den Roboter autonom zur richtigen Paneele fahren zu lassen.“ Dann muss Justin dem Astronauten die defekte Solarpaneele mit seinen Kamera-Augen zeigen. Fehlt noch die Fehleranalyse: Dafür muss der Roboter sich an der Paneele mit einem Werkzeug einstöpseln und die Daten zum Astronauten schicken. „Auf dem Tablet-PC erscheinen dann die verschiedenen Aufgaben zur Auswahl, die der Roboter für die Reparatur ausführen soll.“ Eventuell müsste er die Solarpaneele auch entstauben – und wie beim Fensterputzen einen Wischer mit sanftem Druck über die Oberfläche bewegen, ohne die Paneele zu beschädigen.

Institutsleiter Prof. Alin Albu-Schäffer nennt das Projekt „Teleoperation auf hoher Ebene“. Die Herausforderungen sind hoch, denn die Zeitverzögerung kann groß, die Qualität der Bilder, die Justin zum Astronauten sendet, hingegen eher schlecht sein. Und sehr viel Einfluss hat der Astronaut letztendlich nicht auf den Roboter, der vieles autonom – und intelligent – umsetzen muss. Der Astronaut bestimmt lediglich die richtige Reihenfolge der gewünschten Operationen. Daniel Leidner zuckt mit den Schultern: „Die Frage ist: Wie selbstständig muss ein Roboter sein, damit der Astronaut effektiv mit ihm zusammenarbeiten kann?“ Mit METERON soll das geklärt werden.

Greifen mit Gefühl

Bei allen Aufgaben, in denen Mensch und Maschine zusammenarbeiten, ist aber vor allem eines wichtig: ein Roboter mit Feingefühl. Will man taumelnde Satelliten im Weltall einfangen und gezielt zum Absturz bringen, muss ein Roboterarm über ein Kamerasystem sein Ziel anvisieren und mit einem Greifer sensibel zapacken können. Erforscht wird dies mit der DEOS-SIM-Anlage, bei der ein Roboterarm auf einem Satelliten sich auf den letzten zwei Metern einem Zielsatelliten nähert und ihn „einfängt“. Alles, was geplant werden kann, übernimmt der Roboter dabei autonom, alles, was darüber hinausgeht, übernimmt ein Mensch am Boden. „Für Unvorhergesehenes braucht man einfach den Menschen, der dann manuell die Steuerung übernimmt.“ Auch bei der NASA-Mission Phoenix will sich das DLR einbringen und zu dieser „De-Orbiting“-Mission eine feinfühlig Hand beisteuern, die in Telepräsenz bedient wird. Vorbild ist dabei die DEXHAND, die erste für den Weltraum qualifizierte Hand des DLR.

Die Fernbedienung für den Weltraum kann allerdings auch auf der Erde eingesetzt werden: Chirurgie-Roboter MIRO unterstützt den Arzt und hilft, mit maschineller Präzision Knochen zu schneiden oder auch Endoskope zu bedienen. Da mag die Aufgabe zwar knifflig sein – aber in dem Fall ist der Roboter bei der Ausführung dem Menschen bereits überlegen. ●

Haushaltsarbeiten für den Weltraum

Simple Lösung, anspruchsvolle Umsetzung. Beispielsweise im Projekt METERON (Multi-purpose-End-to-End-Robotic Operation Network). Im Labor lernt Roboter „Rollin’Justin“ dafür zunächst einmal Scheibenwischen. Kehren. Oder auch Spülen. Der menschengroße Roboter auf Rollen hält vorsichtig einen Becher in der rechten Hand. Links ragt eine Flaschenbürste aus dem gelenkigen Griff der Finger. Daniel Leidner gibt kurz ein Kommando ein. Die großen Hände des Roboters erwachen zum Leben: Justin setzt die Spülbürste vorsichtig innen am Becher an und bewegt ihn mit kalkuliertem Druck wie beim Geschirrspülen. Justin weiß, dass er mit Feingefühl vorgehen muss, wenn der Becher nicht nur sauber werden, sondern auch unversehrt bleiben soll. Setzt er die Spülbürste falsch an, muss er dies merken und nachgiebig werden, statt weiterhin Kraft auszuüben. „Wenn Justin als Roboter einmal auf dem Mars gut mit einem Astronauten im Orbit zusammenarbeiten soll, muss noch etwas mehr Intelligenz dazukommen.“ Und die lernt man auch bei Haushaltsarbeiten.

Doch nur was der Roboter kennt, kann er sinnvoll einsetzen. Gegenstand um Gegenstand, Aktion um Aktion geben die Ingenieure in Justins Datenbank ein, geben seinem „Hirn“ das mit, was er braucht. „Bis vor fünf Jahren hat er alles noch in einer strikten vorgegebenen Reihenfolge ausgeführt – und wenn zum



Weitere Informationen:
DLR.de/RM

Die Signatur des Menschen auf dem Blauen Planeten

Jenseits der großen Schlagzeilen zum Thema Wandel fand auf der Erde eine epochale Veränderung statt. Seit wenigen Jahren leben erstmals mehr Menschen in Städten als auf dem Land. Und der Trend der Urbanisierung setzt sich fort. Gegenwärtig wachsen die Städte insbesondere in Asien und Afrika in atemberaubendem Tempo. Innerhalb weniger Jahre wuchern Megastädte heran, es bilden sich ausgedehnte Stadtlandschaften und ganze Landstriche werden völlig zersiedelt. – Wie können die Chancen der Urbanisierung sinnvoll genutzt werden? Wie lassen sich die negativen Begleiterscheinungen des schnellen Wachstums mildern oder gar vermeiden? Das ist eine der zentralen gesellschaftlichen Herausforderungen der kommenden Jahrzehnte. Das DLR liefert mit Hilfe der Erdbeobachtung Daten für eine nachhaltige Siedlungsentwicklung.

Radardaten dokumentieren die Zersiedelung der Landschaft so genau wie noch nie zuvor

Von Dr. Thomas Esch

Die Zukunft ist städtisch. Rund 7,2 Milliarden Menschen leben heute auf der Erde. Im Jahr 2050 sollen es bereits neun Milliarden sein. Siebzig Prozent davon werden dann in Städten wohnen. Städte werden künftig für neunzig Prozent des Bevölkerungswachstums, für achtzig Prozent des Wohlstandszuwachses sowie für etwa sechzig Prozent des Energieverbrauchs verantwortlich sein. Den urbanen Ballungsräumen kommt als den politischen, wirtschaftlichen und kulturellen Zentren eine Schlüsselrolle zu. Hier entsteht Neues, hier wird die Zukunft vorgelebt. Hier wird entschieden, wie künftige Generationen leben und wirtschaften.

Bewusste Siedlungsentwicklung braucht Wissen. Wissen über den Zustand und die Dynamik des urbanen Systems und insbesondere über seine Wechselwirkungen mit der umgebenden Natur- und Kulturlandschaft. In welchem Maße schädigen Städte die Umwelt, etwa durch „Flächenfraß“, Ressourcenverbrauch, Luft- und Wasserverschmutzung oder den Verlust an Biodiversität? Wie stark sind die Städte selbst durch Naturgefahren und durch den Klimawandel bedroht? Wie haben sich die Städte in der Vergangenheit entwickelt und wie geht es weiter?

Das weltweite Stadtwachstum hat regionale Wurzeln, aber auch gemeinsame Treiber und Ursachen. Diese zu erkennen, erfordert, sie global zu betrachten. Genau hier kann die Erdbeobachtung einen wertvollen Beitrag leisten. Sie hilft, städtische Siedlungsformen von ländlichen zu differenzieren, sie zu kategorisieren und abzugrenzen. Satellitenbasierte Geoinformationen liefern ein aktuelles Bild der Verstädterung, ermöglichen es aber auch, deren Veränderung über die Zeit zu beschreiben.

Satelliten erfassen Siedlungsflächen

Satelliten erlauben es, die Erdoberfläche kontinuierlich zu kartieren. Mit ihrer Hilfe können Wissenschaftler erfassen, wie viele Wälder gerodet, Ackerflächen verloren, Siedlungen erbaut wurden. Doch bislang fehlte es gerade der globalen Betrachtung von Siedlungsflächen an Schärfe, lassen sich doch Siedlungen und Verkehrsflächen im optischen Satellitenbild häufig nicht eindeutig auseinanderhalten. Nun haben Wissenschaftler des Deutschen Fernerkundungsdatenzentrums (DFD) am Earth Observation

Center (EOC) des DLR mit einer neu entwickelten Methode weltweit Städte neu kartiert, und zwar in bislang unerreichter räumlicher Auflösung. Mit einer vollautomatischen Bildanalyse ist auf der Grundlage von Radardaten eine globale Siedlungsmaske mit einer Auflösung von zwölf Metern entstanden – der „Global Urban Footprint“.

Mehr als 180.000 Aufnahmen der deutschen Radarsatelliten TerraSAR-X und TanDEM-X aus den Jahren 2010 bis 2013 wurden zusammen mit Zusatzdaten wie digitalen Geländemodellen für den Global Urban Footprint ausgewertet. Insgesamt verarbeiteten die Wissenschaftler dabei über 20 Millionen Datensätze in einem Gesamtvolumen von 308 Terabyte. Dies entspricht der Datenmenge von etwa 440.000 CDs. Ausgeklügelte Algorithmen ordneten in einem komplexen Entscheidungsprozess jedem der rund 50 Milliarden Pixel eine von drei Bedeckungstypen zu: Siedlung: schwarz, Landoberfläche: weiß, Wasser: grau. Die Beschränkung auf drei Klassen lässt das Siedlungsmuster klar hervortreten, das so besser untersucht und mit anderen Verstädterungsflächen auf der Welt verglichen werden kann. Im Unterschied zu bisherigen Ansätzen erfasst das vollautomatische Auswerteverfahren die für Siedlungsflächen charakteristischen vertikalen Strukturen – also vornehmlich Gebäude. Versiegelte Freiflächen werden hingegen nicht kartiert. Breite Straßenschluchten oder Grünzüge in Städten erscheinen daher als weiße Korridore und Flecken.

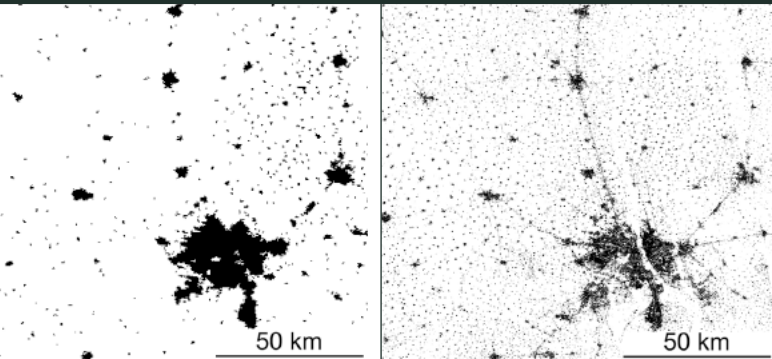
Präzise Karten über die Zersiedelung

Mit seiner räumlichen Genauigkeit ist der Global Urban Footprint einzigartig. Denn kleine Dörfer konnten in weltumspannenden Auswertungen bislang nicht erfasst werden. Die eingesetzten Satellitensysteme boten eine Auflösung von maximal 300 Metern. Doch gerade die kleinräumigen Siedlungsstrukturen sind – neben der Betrachtung städtischer Ballungsräume – wichtig. Oft sind sie ein Zeichen für Zersiedelung. Durch die ungeordnete, kleinräumige Besiedelung werden im ländlichen Raum zunehmend fruchtbare Ackerflächen zerstört und bedeutsame Naturflächen fragmentiert. Werden die Fragmente zu klein, nimmt die Biodiversität ab und mit ihr die Robustheit und Leistungsfähigkeit einer Landschaft.

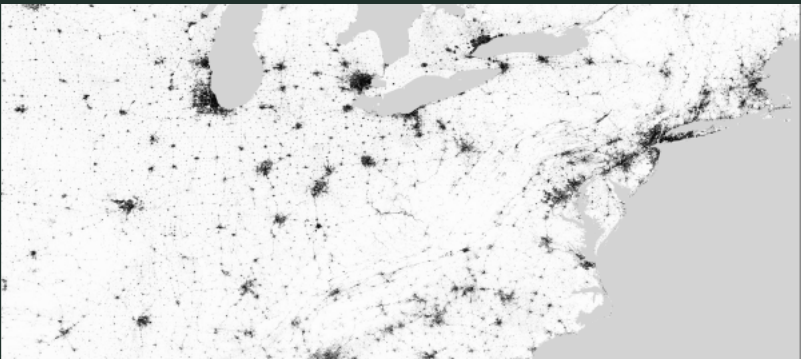
Die Siedlungsmaske des Global Urban Footprint vom Großraum Tokio zeigt das Ausmaß der Zersiedelung



Siedlungsmaske des Global-Urban-Footprint-Datensatzes, abgeleitet für Europa



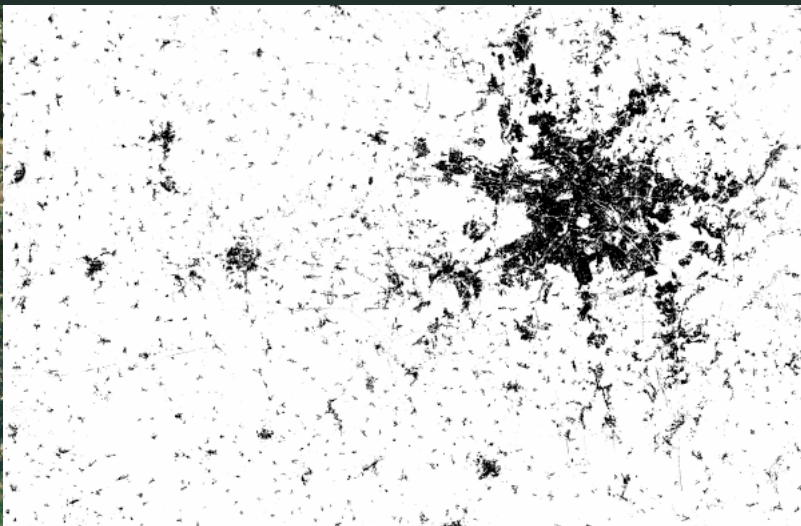
Vergleich des räumlichen Detaillierungsgrades zwischen bisherigen globalen Siedlungskartierungen (links) und neuen Global-Urban-Footprint-Daten (rechts) am Beispiel der indischen Megacity Delhi



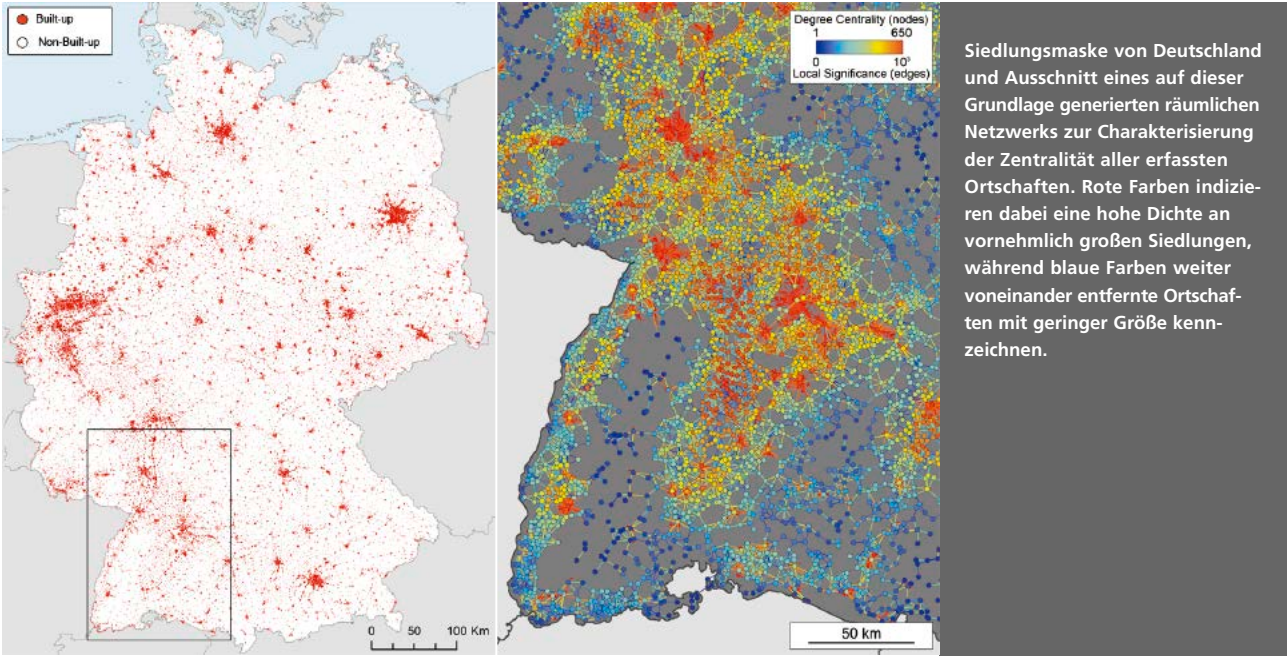
Siedlungsmaske vom Nordosten der USA mit dem markanten BosWash-Verdichtungsraum, der sich als Gürtel von Boston über New York bis nach Washington erstreckt



Im Vergleich: Berlin optisch ...



... gegenüber der Siedlungsmaske aus Global-Urban-Footprint-Daten



Siedlungsmaske von Deutschland und Ausschnitt eines auf dieser Grundlage generierten räumlichen Netzwerks zur Charakterisierung der Zentralität aller erfassten Ortschaften. Rote Farben indizieren dabei eine hohe Dichte an vornehmlich großen Siedlungen, während blaue Farben weiter voneinander entfernte Ortschaften mit geringer Größe kennzeichnen.

Nach bisherigen Schätzungen ging man davon aus, dass etwa ein bis drei Prozent der Landoberfläche weltweit von Siedlungen bedeckt sind. Der Global Urban Footprint des DFD zeigt ein anderes Bild. Gerade in den ländlichen Regionen wurde der Anteil der Siedlungen bislang vielfach unterschätzt. Prozentual sind es zwar nur geringfügige Unterschiede, doch diese sind von hoher Relevanz. Das Leben und Wirtschaften in jedem noch so kleinen Dorf beeinflusst den unmittelbar benachbarten Lebensraum. Ein Netz kleiner Siedlungen kann den Charakter und die Ökologie ganzer Landschaften verändern.

Globale Vielfalt an Siedlungsmustern

Siedlungen sind ein Spiegelbild der Landschaft und der Gesellschaft. Oft sind sie vor mehreren Jahrhunderten an naturräumlich oder geopolitisch günstigen Lagen entstanden – in fruchtbaren Ebenen, an Kreuzungspunkten wichtiger Verkehrsadern oder entlang von Küsten und Flüssen. Teils haben sie sich zu blühenden Wirtschaftsstandorten entwickelt, die in jede bebaubare Nische wachsen und Satellitenstädte entstehen lassen. Oder es haben sich ländlich geprägte Strukturen herausgebildet: ein Netz von Weilern entlang von Reisfeldern und Wasserkanälen in China, ein Muster von Dörfern inmitten von Rodungsinseln in Süddeutschland oder die regelmäßige Abfolge von Gehöften industriell geprägter Landwirtschaft in den USA. So lassen sich aus den Siedlungsmustern und Besiedelungsstrukturen nicht nur einzigartige und spannende Einblicke in die Ursprünge und kulturhistorische Entwicklung von Siedlungen und Kulturlandschaften gewinnen. Die Muster zeigen auch die wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Entwicklungen der jüngsten Zeit auf.

Vielerorts sind innerhalb weniger Jahrzehnte hochverdichtete Stadtlandschaften gewachsen. Unter ihnen zahlreiche Megacities mit über zehn Millionen Einwohnern und Megaregionen mit mehreren hundert Kilometern Ausdehnung. In diesen Megaregionen verschmelzen zahlreiche Ballungszentren miteinander, wie in Tokio-Yokohama mit über 37 Millionen Einwohnern oder auf dem BosWash-Gürtel, einem Städteband mit rund 45 Millionen Einwohnern, bestehend aus Boston, New York City, Philadelphia, Baltimore und Washington D.C.

Exakte Daten und neue Auswertemethoden

Der Global Urban Footprint wird aktuell validiert und spätestens Anfang 2015 vom DFD für andere Wissenschaftler zur

Verfügung gestellt. Mit seiner Hilfe lassen sich beispielsweise die globale Urbanisierung erstmals umfassend beschreiben, der Einfluss der Städte auf das Klima besser modellieren, genauere Risikoanalysen in Erdbeben- oder Tsunamigebieten durchführen und der menschliche Einfluss auf Ökosysteme abschätzen. Darüber hinaus haben die DFD-Wissenschaftler eine Methode entwickelt, um Siedlungsmuster sogar auf kontinentaler und globaler Ebene quantitativ und qualitativ zu analysieren und zu vergleichen. Hierzu werden alle zusammenhängenden Siedlungsflächen des Global Urban Footprint zu Objekten fusioniert. Anschließend leiten die Wissenschaftler für jedes dieser Objekte mehrere Basismerkmale zu Größe und Form (zum Beispiel Kompaktheit) sowie zur Zentralität im übergeordneten Siedlungsgefüge ab. Für Letzteres werden alle Siedlungsflächen miteinander zu einem räumlichen Netzwerk verknüpft. Auf dessen Grundlage können nun die Beziehungen zwischen den Ortschaften effizient und effektiv beschrieben werden.

Der neue Datensatz des Global Urban Footprint und die neu entwickelten Auswerteverfahren helfen, das Phänomen Urbanisierung besser zu verstehen und künftig auf die großen gesellschaftlichen Herausforderungen wie Verstädterung, Bevölkerungsexplosion, Klimawandel und Verlust von Biodiversität angemessen zu reagieren. So profitieren Wissenschaftler von den wesentlich präziseren Informationen zur Siedlungsstruktur, indem die Qualität ihrer raumbezogenen Auswertungen und Modellierungen verbessert wird. Aber auch Planungsträger oder Entwicklungsbanken sind wichtige Nutzer der neuen Daten und Techniken. So lassen sich über die weltweit einheitlichen Daten zur Lage von Siedlungen mitsamt wichtiger Kenngrößen zu Größe und Form sowie ihrer Zentralität wichtige Informationen ableiten, wie sie etwa im Rahmen der Infrastrukturplanung dringend benötigt werden. Ein Vorteil, gerade in entlegenen und gering entwickelten Regionen der Erde, wo geeignete Geodaten in aller Regel fehlen. ●

 Weitere Informationen:
DLR.de/guf

Die Global-Urban-Footprint-Initiative, kurz GUF

Beteiligte: Dr. Thomas Esch, Dr. Wieke Heldens, Andreas Felbier, Dr. Mattia Marconcini, Achim Roth und Julian Zeidler

Regionalmeldungen



Zubehör für den „Dosensatelliten“

CanSat: Forschung aus der Dose

Der Spaceclub Berlin hat den CanSat-Wettbewerb (Can: englisch für Dose) gewonnen. Das Schülerteam nimmt als amtierender deutscher Meister 2015 am europaweiten CanSat-Wettbewerb um den besten „Dosensatelliten“ teil.

Sieben Monate lang hatten die Berliner als eine von zehn Schülergruppen aus acht Bundesländern Miniatur-Satelliten entworfen. Diese durften nur die Größe einer Getränkedose haben. Im Oktober 2014 wurden die selbst entwickelten, funktionsfähigen Mini-Satelliten mit DLR-Unterstützung durch eine Rakete auf 1.000 Meter Höhe gebracht und dort aktiviert. Während der Fallphase sollten die Schüler dann die Funktionen ihrer Mini-Satelliten abrufen. Das Projekt wurde von der Europäischen Weltraumorganisation ESA ins Leben gerufen, um junge Menschen für Naturwissenschaft und Raumfahrttechnik zu begeistern. Neben der Aufgabe, einen Satelliten zu entwerfen und zu bauen, hatten sich die Schüler auch um die Programmierung, Finanzierung und Öffentlichkeitsarbeit zu kümmern.



Zunächst mussten sich die Teams mit Ideen zu einem wissenschaftlichen Experiment für den Wettbewerb qualifizieren. So simulierte die Gruppe „CanSation“ aus Bremen die Suche nach außerirdischem Leben. Das Team „Gyrosat“ aus Wolnzach, Bayern, testete ein System, mit dem beim Stratosphären-Sprung von Felix Baumgartner der gefährliche „Flat-Spin“ hätte vermieden werden können. Und das Team „CRosSat“ aus Rostock, Mecklenburg-Vorpommern, untersuchte die Ausbreitung von Luftschadstoffen in unserer Atmosphäre. Das Team des Berliner Spaceclubs überzeugte schließlich in allen Kategorien mit Temperatur- und Luftdruckmessungen. Außerdem registrierte ihr Dosen-satellit die Staubbelastung am Aufstiegsort.

Am 8. Oktober 2014 erlebten die Schüler schließlich den Höhepunkt des Wettbewerbs, den Raketenstart ihres CanSats vom Flugplatz Rotenburg (Wümme). Danach wurden die empfangenen Daten ausgewertet und die Ergebnisse der Jury vorgestellt. Am 10. Oktober fand dann beim Raumfahrttechnikhersteller Airbus Defence and Space in Bremen die Siegerehrung statt.

Das Sieger-Team aus Berlin

s.DLR.de/cxo6



SmallGEO – neue Satellitenplattform wird in Bremen zusammengesetzt

In der Hansestadt Bremen entsteht eine neue Plattform für Telekommunikations-satelliten. Begleitet vom Raumfahrtmanagement im DLR wird das Projekt „Advanced Research in Telecommunication Systems“, kurz ARTES-11, in Zusammenarbeit mit zwölf ESA-Partnerländern realisiert. Der Raumfahrtkonzern OHB hat die Integration der Plattform übernommen, in der viel deutsche Technologie steckt, so zum Beispiel die Tanks und der Apogäumsmotor.

Der erste, rund 3,2 Tonnen schwere Satellit wird im zweiten Halbjahr 2015 zu seiner geostationären Umlaufbahn in knapp 36.000 Kilometer Höhe aufbrechen. Mit an Bord sind 300 Kilogramm Telekommunikationstechnologie. Drei Nachfolger sind geplant, wobei die Kapazität für Nutzlasten von Satellit zu Satellit gesteigert wird. Der letzte Satellit Electra soll im Jahr 2018 fertiggestellt werden.



s.DLR.de/l7s2



Integration von Satellitenteilen in Bremen

Bild: OHB System AG

WindEnergy Hamburg – neue Rotorblätter für die Energie der Zukunft

Intelligente Rotorblätter und leichtere Bauweisen machen die Windenergieanlagen der Zukunft größer und leistungsstärker. Das DLR hat in Zusammenarbeit mit dem Forschungsverbund Windenergie (FVWE) an einer besseren Nutzung von Windenergie geforscht. Einige Ergebnisse wurden im September 2014 auf der Fachmesse „WindEnergy Hamburg“ vorgestellt.

Die neuen Rotorblätter können die jeweils aktuellen Windverhältnisse besser nutzen. Dank ihrer größeren Länge überstreichen sie bei jeder Umdrehung eine Fläche von mehreren Fußballfeldern. Innerhalb dieser Fläche treten sehr unterschiedliche Windgeschwindigkeiten auf. Intelligente Rotorblätter sind durch verstellbare Klappen an der Vorder- oder Hinterkante des Rotorblatts in der Lage, sich schnell an die unterschiedliche Windlast anzupassen. Das erlaubt es, Energie auch bei unterschiedlichen Windverhältnissen bereitzustellen.

s.DLR.de/0o9k



Wasserstofftechnologien auf der H2Expo in Hamburg

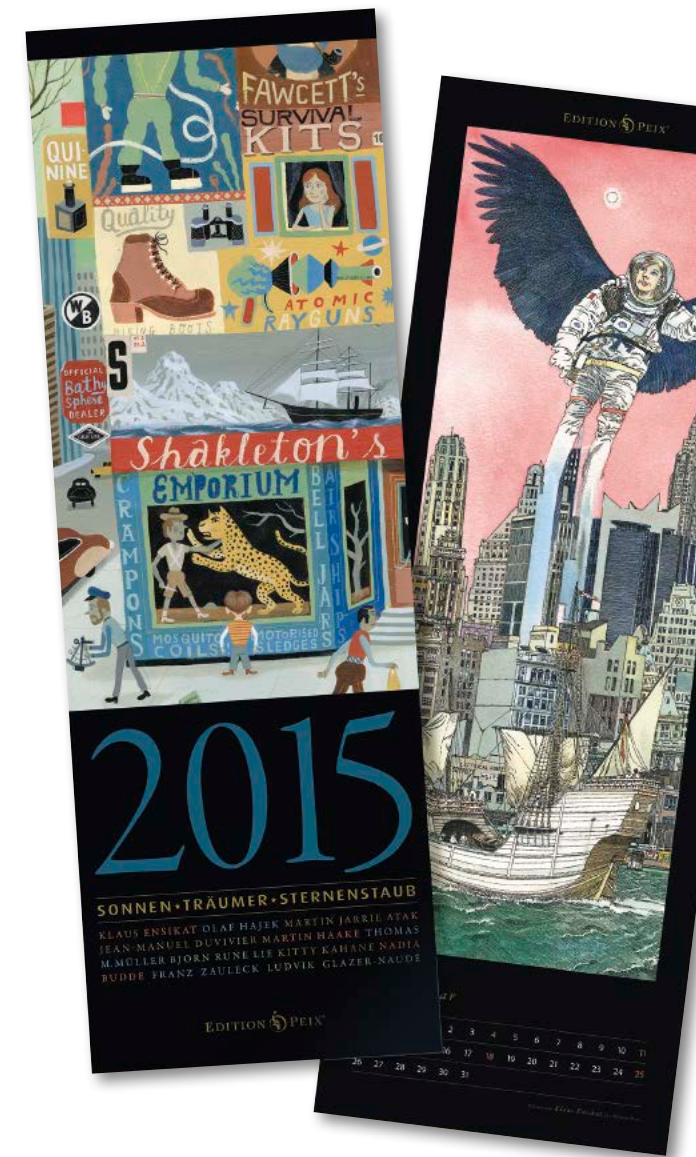
Für Energieversorgung und Mobilität von morgen sind Wasserstofftechnologien eine interessante Option. Auf der H2Expo in Hamburg im September 2014 hat das DLR aktuelle Forschungsprojekte dazu vorgestellt.

Ein Highlight des DLR-Instituts für Technische Thermodynamik war ein interaktives Modell eines Hybridkraftwerks, welches hocheffizient Energie produziert. Auch mit dem sogenannten Brennstoffzellen-Stack stießen die DLR-Forscher auf Interesse. Hierbei handelt es sich um mehrere hintereinander geschaltete Zellen, deren Anfangs- und Endplatte aus sehr leichten kohlefaserverstärkten Kunststoffen bestehen. Diese Technologie wird heute schon in der Luftfahrt und im Automobilbau angewendet. Das DLR-Institut für Fahrzeugkonzepte präsentierte ein Lastenrad mit Brennstoffzelle und Studien zu den Gesamtbetriebskosten von Brennstoffzellensystemen.

s.DLR.de/xhju



Brennstoffzellen vermögen Autos anzutreiben und spielen auch eine Rolle in zukunftsweisenden Kraftwerkskonzepten, die eine dezentrale Energieversorgung vorsehen

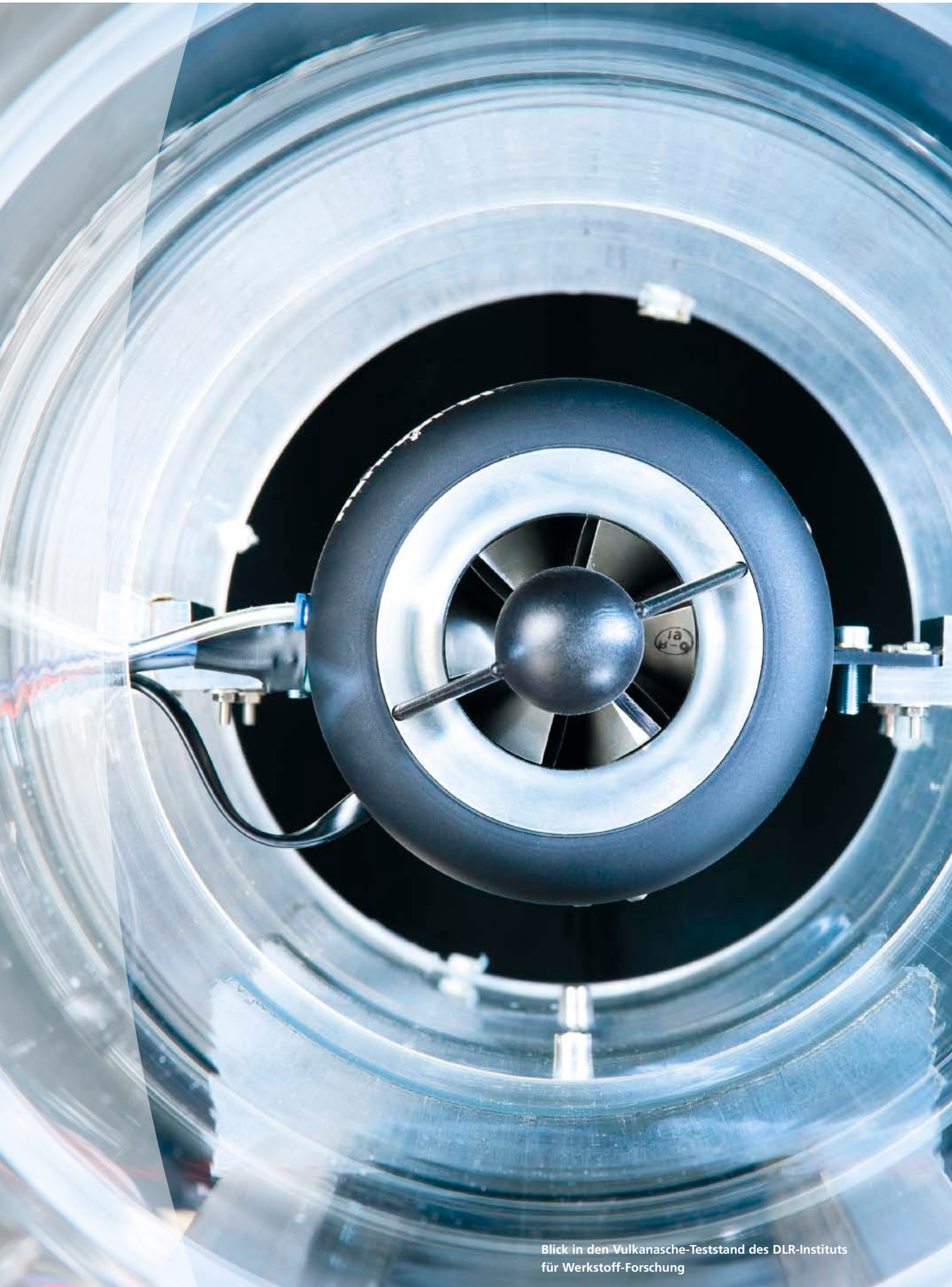


TIPP DER REDAKTION Schwerelos an der Wand

Zwölf Illustratoren, eine Mission. Zwölf Monate fantasievolles Reisen in der Welt der Sterne – vom Schreibtisch aus. Mit dem Kalender „Sonnen, Träumer, Sternenstaub“ ist es möglich. Auch für das Jahr 2015 hat die Edition Peix wieder ein einzigartiges Kunstobjekt im Format 100 x 33 Zentimeter erschaffen. Zwölf Künstler, die in der ganzen Welt zu Hause und vielfach ausgezeichnet sind, lassen seit 15 Jahren eine Edition entstehen, die längst ein begehrtes Sammlerstück und noch immer ein Geheimtipp ist. Sterne, der Traum vom Flug ins Weltall, die Entdeckung von Unbekanntem. Auf zwölf Kalenderblättern zeigen die Künstler ihre Gedanken-Reisen in ihrer individuellen Bildsprache und mit ihren unterschiedlichen Stilmitteln.

bit.ly/1pXqq3o





Blick in den Vulkanasche-Teststand des DLR-Instituts für Werkstoff-Forschung

Erst mit den Technikern läuft's rund

Selten im Rampenlicht, nicht auf Podien, kaum in Zitationslisten und doch für wissenschaftlichen Erfolg unentbehrlich: die Techniker. Sie kommen ins Spiel, wenn Ideen von Forschern umgesetzt werden, Experimentiermöglichkeiten auszuloten sind oder Versuchsvarianten gegenübergestellt werden müssen, kurzum, wenn eine originäre technische Lösung für eine wissenschaftliche Fragestellung zu finden ist ... so auch in diesem Fall: Es geht darum, ein optimales Schutzschichtsystem für hochbelastete Bauteile wie Turbinenschaufeln zu entwickeln. Jörg Brien und Daniel Peters vom DLR-Institut für Werkstoff-Forschung erarbeiten die technischen Voraussetzungen für maßgeschneiderte Versuchsreihen und setzen diese um.

Bei der Suche nach einer optimalen Schutzschicht für Turbinenbauteile haben die Wissenschaftler versierte „Hintermänner“

Von Cordula Tegen

Die Morgenstunde ist still, die Halle mit den Versuchsanlagen menschenleer. Doch oben auf der Galerie hat der Tag schon begonnen. Stimmen sind zu hören, ein Kaffee-Automat surrt. Jörg Brien setzt sich mit seiner Tasse an den langen Tisch zu zwei Kollegen. In seinem Büro auf der anderen Gangseite des Instituts für Werkstoff-Forschung im DLR Köln hat er sich anhand des Wochenplans bereits einen Überblick verschafft, was als nächstes anliegt. Die Excel-Tabelle mit den farbig hervorgehobenen versetzten Verlaufsbalcken zeigt auf einen Blick, was diese Woche zu passieren hat. Eine Versuchsreihe für das Projekt „Haifischhaut“ steht auf dem Programm: Eine hauchfeine Schutzschicht für Triebwerksschaufeln soll auf Materialproben aufgetragen werden. Das Besondere ist ihre mikrometerfeine Riefung, die wie bei Haien die Strömungseigenschaften verbessern soll. Eine anspruchsvolle Aufgabenstellung, auch für einen erfahrenen Techniker wie Brien. Und dann sind da noch Proben für einen weiteren Auftrag vorzubereiten ...

Dr. Reinhold Braun kommt die Metalltreppe zur Galerie herauf. Der Physiker hat von einer wissenschaftlichen Konferenz über hochtemperaturfeste Legierungen eine interessante Frage mitgebracht. Noch ahnt keiner, dass sich daraus das europaweite Großprojekt HYSOP entwickeln wird. Zunächst geht es um die scheinbar einfache Frage, wie man eine neue Klasse von Werkstoffen so widerstandsfähig machen kann, dass sie in Turbinen höheren Temperaturen als bisher standhalten. – Höhere Temperaturen machen den Verbrennungsprozess effizienter, das spart Kraftstoff und schont die Umwelt. Deshalb wächst das Interesse an solchen neuen Werkstoffen.

Die Stunde null

Zeitsprung. Oktober 2010. Bei der ONERA, dem französischen Pendant zum DLR, findet das Kick-off-Meeting zum EU-Projekt „HYSOP“ statt. Mehrere europäische Partner tun sich zusammen, um eine neue Generation von Hochtemperaturwerkstoffen auf der Basis von Niob sowie geeignete Schutzschichten für Bauteile in Luftstrahltriebwerken zu entwickeln. Das DLR ist mit seiner Expertise zu Wärmedämm- und Schutzschichten gefragt. Solche innovativen Schichtsysteme sind die Domäne der Techniker und Wissenschaftler im DLR-Institut für Werkstoff-Forschung. Dort wird seit Jahren unter anderem an keramischen Werkstoffen für Hochtemperaturschutzschichten gearbeitet.

Für die Anforderungen im Projekt HYSOP haben die Experten vom DLR auch schon Kandidaten im Visier: Zirkonate und Silikate. Vertreter dieser Material-Gruppe sind auf Triebwerkskomponenten schon erfolgreich eingesetzt worden. Sie sind als Schutzschicht gegen Korrosion in der Verbrennungsatmosphäre von Gasturbinen erprobt. Aber ein Schichtsystem auf Werkstoffen aus Niob aufzubringen, einem selten vorkommenden Schwermetall mit hohem Schmelzpunkt, das ist Neuland.

Wie sieht das optimale Schichtsystem aus? Welche Kombination bringt die erhofften Effekte? – Damit die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler diese Fragen beantworten können, sind diverse Schichten herzustellen, Kombinationen zu prüfen und genau zu untersuchen. Damit bekommen die Techniker im

KURZ VORGESTELLT

**Jörg Brien**

Jahrgang 1967, im DLR seit 1983

Aufgaben

- technische Verantwortung sowie Durchführung von Versuchen an der Großanlage MEGA
- Konstruktion von Halterungs- und Anlagenelementen
- Arbeits- und Beschichtungsplanung
- Strahlenschutzbeauftragter

Ausbildung

- zum Mechaniker in der DLR-Lehrwerkstatt (1983–1986)
- Techniker-Ausbildung an der Abendschule in Bonn (1990–1994)

**Daniel Peters**

Jahrgang 1979, im DLR seit 1999

Aufgaben

- technische Verantwortung sowie Durchführung aller Versuche an der Großanlage ESPRI
- Konstruktion von Halterungs- und Anlagenelementen
- Analyse von Beschichtungen und Werkstoffen mittels Röntgenfluoreszenz
- Strahlenschutzbeauftragter

Ausbildung

- zum Mechaniker in der DLR-Lehrwerkstatt (1999–2002)
- Abendschule zum Maschinenbautechniker, Schwerpunkt Fertigungstechnik; Heinrich-Hertz Europakolleg Bonn (2003–2007)



Feinabstimmung der im Projekt „HYSOP“ anstehenden Versuche.
Diesmal mit am Tisch der Techniker: der Physiker Dr. Reinhold Braun (2. v. l.).

Institut alle Hände voll zu tun. Sobald sie von den Wissenschaftlerkollegen über das Projekt ins Bild gesetzt sind und Klarheit über Größe, Umfang sowie Dauer besteht, setzen sich die beiden Techniker Brien und Peters mit dem Physiker Braun zusammen. Gemeinsam erörtern sie den Zeitplan, den Bedarf an Maschinen und Materialien, konkretisieren die Arbeitsaufträge und besprechen Problemstellungen, die sich bei den Versuchsanlagen eventuell ergeben können. Denn die Großanlagen, mit denen die Techniker zu tun haben, entziehen sich jeder Routine. Für die hochempfindlichen Anlagen, die mit Elektronik, Überwachungssensorik und anspruchsvoller Mess- und Steuerungstechnik ausgestattet sind, ist jede neue Versuchsreihe eine Premiere. „Keine Beschichtung ist wie die andere. Immer wieder müssen wir etwas anpassen oder umbauen“, erklärt Brien. „Darin liegt die Herausforderung für uns Techniker, aber auch das Spannende an unserem Beruf.“

„Unser Job ist immer für eine Überraschung gut“, ergänzt sein Kollege Peters und erinnert an eine rätselhafte Störmeldung der Anlage MEGA: Das Display hatte Fehler 949 angezeigt – Substratsicherheit unterbrochen. Die Wege zur Fehlerbehebung sind auch im Fall von Hightech-Anlagen in den „Beipackzetteln“ zuweilen etwas allgemein beschrieben. Es blieb den Technikern nichts anderes übrig, als jedes in Frage kommende Steuerelement einzeln zu prüfen. Fündig wurden sie schließlich beim Vermessen der Stromkreise. Ein hängendes Schütz – ein elektrisches Bauteil im Schaltschrank der Anlage – war die Ursache. Das Ersatzteil konnte schließlich schnell bestellt und ausgetauscht werden. Doch immerhin: Vier Tage Verzug waren die Folge. Das bedeutete für die Techniker, alle Pläne zu ändern.

Suche nach dem Königsweg

Doch zurück zum Projekt HYSOP: Bevor eine erste Materialprobe hergestellt und getestet werden kann, ist noch über das Substratmaterial zu reden. So bezeichnen die Techniker das Grundmaterial, auf dem der Schichtauftrag erfolgt. In diesem Fall ist es eine Niob-Basislegierung, die von Projektpartnern entwickelt und in Form von Proben für die Beschichtung bereitgestellt wird. Und noch etwas ist zu bedenken: Um am Ende ein wirklich stabiles Schutzschichtsystem zu erreichen, bedarf es der sogenannten Haftvermittlungsschicht, die ähnlich wie ein Voranstrich an der Wand für eine optimale Verbindung der

Schichten und des Oxidationsschutzes sorgt. Die potenziellen Haftvermittler werden in diesem Fall von den französischen Partnern auf die Proben aufgebracht. Dann erst gelangen die Proben zum DLR, wo sie von Brien und Peters mit der Aufnahme in die Datenbank ihre Nummer bekommen und so zu offiziellen Testkandidaten werden. Nun ist es an der Zeit, die Messungen für das Projekt HYSOP in die Auftragskette der Abteilung Hochtemperatur- und Funktionsschichten einzureihen und Prioritäten zu setzen. Jetzt liegt der Ball endgültig allein bei den beiden Technikern. Sie haben nun Proben für die eigentliche Schichtherstellung vorzubehandeln. Doch was ist die beste Vorbehandlung? „Für eine gute Haftung kann man die Oxidationsschutzschicht im Vakuumofen glühen, sie mittels eines Sandstrahlgeräts aufrauen oder auch glätten“, erläutert Brien. Erst wenn das ausgetestet ist, kennen sie den Königsweg.

Immer der Reihe nach

Die Suche nach der optimalen Vorbehandlung nimmt mehrere Wochen in Anspruch. In der wöchentlichen Abteilungsbesprechung werden immer wieder die Anlagenverfügbarkeit und die einzelnen Arbeitsabläufe besprochen. In dieser Phase treten Techniker und Wissenschaftler in einen intensiven Dialog. Schließlich ist dann klar, womit der beste Haftungseffekt zu erzielen sein dürfte. Das Aufdampfen verschiedener Wärmedämmschichten auf die nun optimal vorbereiteten Proben kann beginnen: Sowohl die herkömmlichen Schichten (Yttrium-stabilisiertes Zirkonoxid) als auch die „Hoffnungsträger“, die neu entwickelten keramischen Schichten (Gardolinium-Zirkonat) werden in den Anlagen der Abteilung Hochtemperaturfunktionsschichten aufgedampft. Der Werkstoff hatte immerhin schon bewiesen, dass er der Infiltration durch Vulkanaschepartikel widersteht.

Für die Beschichtungen müssen Brien und Peters zwei Anlagen, die MEGA und die ESPRI, vorbereiten und einrichten. Für den Erfolg sind jetzt Erfahrung und stets genaues Arbeiten gleichermaßen wichtig. Neben dem Einstellen der Prozess-Parameter, die die Strukturbildung der verschiedenen aufeinander liegenden Schichten auf den Proben beeinflussen, müssen die Terminpläne des EU-Projekts und der Partner im Auge behalten werden. „Ohne flexibles Prozessmanagement geht das nicht“, sagt Jörg Brien.

SCHÜTZENDER MANTEL FÜR DIE TURBINENSCHAUFEL: DAS EU-PROJEKT HYSOP

In Verdichtern und Turbinen von Luftstrahltriebwerken geht es heiß her. Damit Turbinenschaufeln den außerordentlich rauen Betriebsbedingungen trotzen können, bekommen sie einen schützenden Mantel. Das dünne Schichtsystem besteht derzeit meist aus einer äußeren keramischen Zirkonoxidschicht und einer metallischen Schicht zur Haftvermittlung. Für die bei Betriebstemperaturen um die 1.150 Grad Celsius gegenwärtig eingesetzten Nickelbasislegierungen bieten sie einen wirksamen Schutz vor Hitze und Oxidation sowie vor der korrodierenden Wirkung von Wasserdampf. Doch für eine noch effizientere Verbrennung würde man mit der Temperatur gern noch höher gehen.

Für deutlich höhere Gas-Eintrittstemperaturen und die damit verbundene größere thermische Materialbelastung müssen deshalb neue Werkstoffe entwickelt werden. Ein Kandidat dafür sind Niob enthaltende Hochtemperaturlegierungen. Allerdings sind diese nicht so widerstandsfähig gegen Oxidation. Um diese Werkstoffe einsetzen zu können, benötigen sie Schutzschichten gegen Oxidation, Hitze, Wasserdampfkorrosion sowie chemischen Angriff von angesaugtem Sand oder Vulkanasche.

Im EU-Projekt HYSOP (Hybrid Silicide-based Lightweight Components for Turbine and Energy Applications) von Partnern aus Deutschland, Frankreich und England werden solche niobbasierten Legierungen sowie geeignete Ummantelungen entwickelt. Aufgabe des DLR ist es, Wärmedämmschichten und keramische Hochtemperatur-Schutzschichten für Turbinenbauteile mittels Elektronenstrahlverdampfung und Magnetron-Sputtern herzustellen und zu optimieren.

Die ausgeklügelte Logistik wird dann auf die Probe gestellt, wenn mal eine Maschine streikt. In einem solchen Fall, so erinnert sich Peters, konnte erst mittels Herstellerkontakt und einer Datenleitung zur Anlage schließlich ein Fehler am Generator der Kathode ausfindig gemacht werden.“ Ausbau, Reparatur beim Hersteller und Wiedereinbau bedeuten Zeitverzug. „Hier ging es um ein paar Wochen“, ergänzt Brien und verweist kopfweiegend auf das Balkendiagramm, das die Projektabläufe darstellt. „Die nachfolgenden Glühungen der Proben verzögerten sich, die Arbeiten an der ESPRI, die nachfolgend eingeplant waren, entfielen zunächst. Die Stillstandzeiten der zweiten Anlage wollten wir natürlich mit einem anderen Auftrag füllen. Da finde mal kurzfristig einen passenden ...“. Nicht jeder Techniker-Tag endet so, wie er morgens geplant war.

Die Stunde der Wahrheit

Wie gut die Materialproben wirklich sind, erfährt man erst im finalen Testlauf. Wenn sie in den Prüfanlagen des Instituts hohen Temperaturen ausgesetzt werden, zeigt sich, welche Kombination von Schichtsystem und Werkstoff die hohe thermische Belastung übersteht. Dazu werden die Proben in einem Thermowechsel-Oxidationsofen eingebaut und auf eine Temperatur von 1.200 Grad Celsius aufgeheizt. Es folgt die rasche Abkühlung.

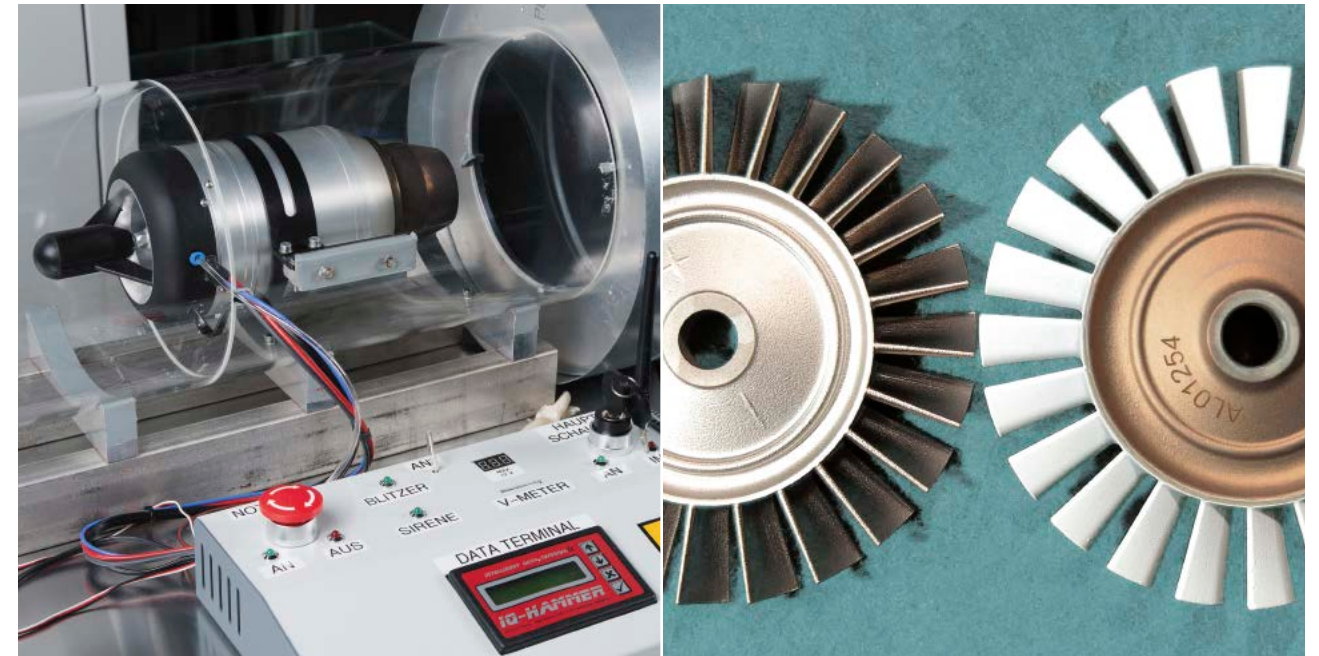
Durch diese starken Schwankungen werden die Schichten auf das Äußerste belastet. Ein Test-Marathon beginnt. Die Versuche laufen über Monate. Der Kandidat, der diesem Stress schließlich am längsten standhält, ist der Sieger.

Jetzt erst weiß man, welches Verfahren sich eignet, um die niobbasierte Legierung zum neuen Hochtemperaturwerkstoff zu entwickeln und wie man die Bauteile am besten mit einem wirksamen Schutzmantel versehen kann.

Am Ende kommt Dr. Braun wieder die Metalltreppe der Versuchshalle des DLR-Instituts für Werkstoff-Forschung hinauf. Er hat inzwischen seine wissenschaftliche Arbeit zum Thema Schutzschichten für Hochtemperaturbauteile beendet, deren Rückgrat die Probenvorbereitungen durch die beiden Techniker Brien und Peters bilden, und freut sich, die Ergebnisse auf der nächsten Konferenz zu präsentieren. Und er weiß: Die sind gut! ●



Weitere Informationen:
DLR.de/WF



Versuchsaufbau zum Erforschen der Wirkung von Vulkanasche. Techniker testen hier Turbinenschaufeln von Kleingasturbinen unter Bedingungen, die denen eines Fluges durch eine Aschewolke ähneln. Rechts im Bild: Turbinenräder mit und ohne Wärmedämmschicht.

DIE MULTIQUELLEN-MAGNETRON-SPUTTERANLAGE MEGA

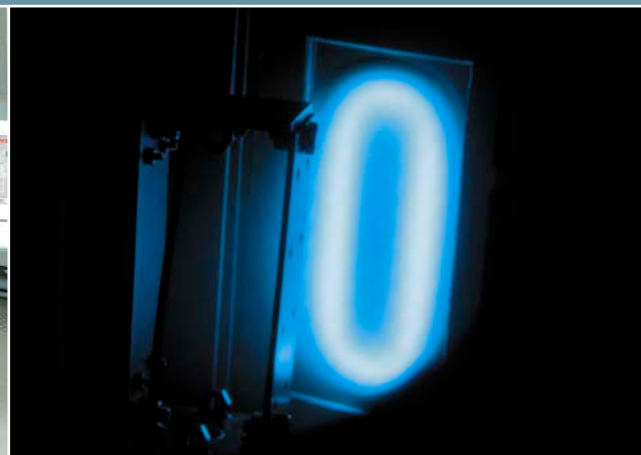
Mit der MEGA-Anlage werden Schutzschichten auf Werkstoffproben aufgebracht. Beim Sputtern (vom englischen to sputter = zerstäuben), auch Kathodenzerstäubung genannt, werden Atome aus einem Festkörper (Target) durch Beschuss mit energiereichen Ionen (vorwiegend Edelgas-Ionen) herausgelöst. Das auf diese Weise in die Gasphase übergegangene, quasi „zerstäubte“ Material schlägt sich auf einem Substrat nieder und bildet eine feste Schicht. Auf diese Weise erzeugte nanostrukturierte mehrlagige Schichten können in ihrer chemischen Zusammensetzung weitreichend variiert werden. Bis zu vier Targets aus unterschiedlichen Werkstoffen können eingesetzt werden.

Solche Schichtsysteme sind für den Triebwerksbau ebenso interessant wie für den Schutz thermisch-mechanisch hochbelasteter Komponenten in stationären Gasturbinen, im Raketentriebwerk und für Raumfahrtstrukturen sowie Anwendungen der Energietechnik.

Im Zusammenspiel mit dem Elektronenstrahlverdampfen (EB-PVD), den modernsten Mikroanalyseverfahren und mikro- beziehungsweise makromechanischen Prüfmethoden besitzt das DLR-Institut für Werkstoff-Forschung eines der modernsten Beschichtungszentren der öffentlichen Forschung in Deutschland.



Versuche an der Großanlage MEGA



Blick in die Beschichtungskammer der Magnetron-Sputteranlage mit leuchtendem Plasma

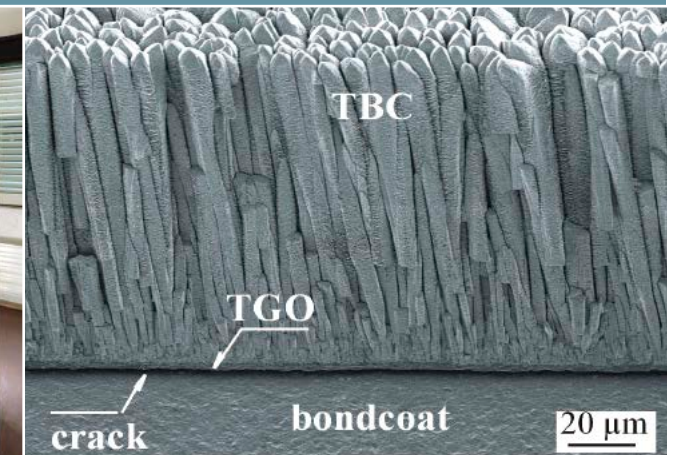
DIE ELEKTRONENSPRINGSTRAHLANLAGE ESPRI

Zur Herstellung von Wärmedämmschichten werden am Institut für Werkstoff-Forschung zwei EB-PVD-Großanlagen (EB-PVD: electron beam physical vapour deposition) betrieben: Beim EB-PVD-Verfahren wird in einer Vakuumkammer ein feinfokussierter Elektronenstrahl von bis zu mehreren 100 Kilowatt Leistung über ein zu verdampfendes Material (Metall oder Keramik) geführt. Es entsteht so eine Dampf- wolke, in der vorgeheizte Turbinenschaufeln bewegt werden. Indem sich Dampfteilchen an den kälteren Schaufeln abscheiden, wächst eine Schicht von 5 bis 20 Mikrometern pro Minute auf. Die für das EB-PVD-Verfahren typische

kolumnare (säulenförmige) Struktur verleiht den aufgedampften Wärmedämmschichten ihre ausgezeichnete Toleranz gegen Thermoschocks und thermomechanische Spannungen, denen Turbinenschaufeln während ihres Betriebs ausgesetzt sind. Die nahezu einzeln stehenden Stängel sind dabei relativ frei gegeneinander beweglich und nur am Fußpunkt mit dem Untergrund verhaftet. Bei Erwärmung dehnt sich das Substrat stärker als die Keramik aus, wobei sich die Stängelzwischenräume vergrößern und so der Keramikschicht eine Pseudo-Plastizität verliehen wird.



Versuche an der Großanlage ESPRI



Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme der Bruchfläche einer Wärmedämmschicht

Mission Flugversuch

In Manching bei Ingolstadt, rund eine Autostunde nördlich von München, ist die Wehrtechnische Dienststelle (WTD) 61 der Bundeswehr beheimatet. Hier starten Flugzeuge der Bundeswehr wie der Eurofighter zu ihren Testflügen und werden Schritt für Schritt für die reguläre Nutzung und den Einsatz bei der Luftwaffe zugelassen. Eine Transall, fünf Tornados, ein Eurofighter und acht Hubschrauber stehen aktuell für Flugversuche in den Hangars der Dienststelle. Insgesamt 555 Bundeswehrangehörige arbeiten hier, zum Teil in Uniform, zum Teil als zivile Angestellte; hinzu kommen 51 Feuerwehrleute und 91 Auszubildende. Und seit nunmehr 40 Jahren begleitet eine Handvoll DLR-Mitarbeiter die Flugerprobung in Manching und berät die Bundeswehr in technischen Fragen.

40 Jahre DLR-Außenstelle Flugerprobung in Manching

Von Falk Dambowsky

7:30 Uhr am Morgen. Für die Flugerprobung der Bundeswehr in Manching treffen sich Piloten, Techniker und Flugversuchsingenieure zum alltäglichen Wetterbriefing. Stets auch dabei: ein Ingenieur der DLR-Außenstelle. In einem Vortragssaal zeigen die Wetterkarten deutlich den nebelbedeckten Verlauf der Donau: Morgendlicher Nebel ist hier im Donautal nichts Ungewöhnliches. Für den Tag ist die Wetterprognose aber gut: „Im Laufe des Vormittags wird sich der Nebel auflösen.“

Später erscheint an der Wand eine weitere Wetterkarte: Die Prognose für die nächsten Tage ist eher trüb, sodass es gilt, heute so viele Flüge wie möglich durchzuführen. Schritt für Schritt gehen die Anwesenden, darunter Fluglotsen, Testpiloten und Flugversuchsingenieure, den Ablaufplan des Flugtages durch. „Die Testflüge können wie geplant stattfinden“, heißt das Resümee. An diesem Morgen Ende August ist die DLR-Außenstelle beim Briefing mit einem ganz besonderen Trio vertreten:

Ina Rüdinger, Oliver Brieger und Hans Galleithner – die jetzige Leiterin und ihre beiden Vorgänger. Sie haben sich zusammengefunden, um für das DLR-Magazin vierzig Jahre DLR-Beteiligung an Flugversuchen in Manching Revue passieren zu lassen.

Es war Anfang des Jahres 1975, als der Kooperationsvertrag über die Zusammenarbeit in der Flugerprobung zwischen der Abteilung Luftfahrtgerätetechnik des Bundesamts für Wehrtechnik und Beschaffung (BWB) und dem damaligen Institut für Flugmechanik der Deutschen Forschungs- und Versuchsanstalt für Luft- und Raumfahrt (DFVLR) geschlossen wurde. Nach Umbenennung ist es heute das DLR-Institut für Flugsystemtechnik, das die Zusammenarbeit trägt. „Mit einer DLR-Außenstelle und Mitarbeitern direkt vor Ort in Manching wollten wir die Forschung näher an die Praxis der WTD 61 heranbringen“, erinnert sich Professor Peter Hamel, der ehemalige Leiter des Instituts für Flugsystemtechnik, der die wehrtechnische Kooperation mit



Flugerprobung im Team: Robert Hierl, heute Chefpilot der Bundeswehr in Manching (links), und DLR-Flugversuchsingenieur Oliver Brieger vor einem Testflug mit dem Eurofighter im Jahr 2009.



Inzwischen schon historisch: das Team der Roll- und Flugversuche mit der Transall aus dem Jahr 1992. Ganz rechts im Bild Hans Galleithner, der über drei Jahrzehnte die DLR-Außenstelle Manching leitete.

Dr. Richard Rosenberg, dem damaligen Leiter des BWB-Fachbereichs Luftfahrtgerätetechnik, gemeinsam initiiert hatte. „Unsere Präsenz vor Ort brachte schnell Erleichterungen in der Zusammenarbeit und für die Kollegen der WTD 61 war es ein spürbarer Gewinn, das DLR als unabhängigen Ansprechpartner aus der Forschung direkt vor Ort zu haben“, sagt Hamel.

Schon damals war die Kompetenz des DLR im Bereich der elektronischen Flugsteuerung, der Flugeigenschaftsbewertung und der In-Flight-Simulation gefragt. Mit dieser Technik lassen sich die Eigenschaften eines Flugzeugs, wie etwa die Manövrierfähigkeit eines zu simulierenden Flugzeugs abbilden oder grundlegend verändern. Ab den Siebzigerjahren kam die elektronische Flugsteuerung verstärkt in Überschalljets, beispielsweise in der amerikanischen F-15 und F-16 sowie dem PA 200 Tornado, zum Einsatz. „Bis heute ist die Außenstelle in Manching für das DLR sehr wertvoll, vor allem weil wir hier direkt und schnell mit den Testpiloten über konkrete Flugversuchsplanungen ins Gespräch kommen“, ergänzt Prof. Stefan Levedag, der als Nachfolger von Prof. Hamel heute das DLR-Institut für Flugsystemtechnik leitet.

Der Aufbau der Außenstelle

Gerade erst als Flugversuchingenieur bei der damaligen DFVLR eingestiegen, übernahm Hans Galleithner 1975 die Leitung der Außenstelle des Braunschweiger Instituts für Flugmechanik in Manching. „Am Anfang war ich als DFVLR-Vertreter bei der WTD 61 vor Ort auf mich allein gestellt“, erinnert sich Galleithner. „Aber das war kein Problem, denn es gab ja den wissenschaftlichen ‚Rückraum‘ in Gestalt der Braunschweiger Kollegen und ich agierte als Bindeglied zwischen ihnen und den Manchinger Flugerprobungspraktikern.“ Einige der Testpiloten in Manching kannte Hans Galleithner bereits von seiner Ausbildung zum Flugversuchingenieur an der Testpilotschule und es entwickelte sich rasch eine besondere Nähe zu den Kollegen von der Erprobungsstelle. „Im Lauf der Zeit merkte ich, dass ich ja das Ohr sozusagen ‚an der Schiene‘ damaliger Entwicklungen hatte, und ich wurde zunehmend in zahlreiche Erprobungsprojekte mit eingebunden.“ In Manching fand Hans Galleithner seine Berufung. Drei Jahrzehnte lang sollte er von da an erst für die DFVLR, später – nach der Umbenennung – für das DLR im Dienste der Flugforschung arbeiten.

Heute ist Galleithner Rentner und lächelt zufrieden: „Es war eine aufregende Zeit mit vielen einzigartigen Projekten und guten Kollegen in Braunschweig wie in Manching.“ Hört man dem 74-Jährigen zu, ist es, als wenn man in einem Typenbuch der Luftfahrtgeschichte lesen würde: Alpha Jet, F4-Phantom, Tornado, Transall, X-31, Eurofighter – mit all diesen Flugzeugen war er bei Flugversuchen in Zusammenarbeit zwischen DLR und WTD 61 befasst. „Direkt nachdem ich mein Büro in Manching bezogen hatte, wurde das Institut mit der Bearbeitung von Flugeigenschaftsanalysen im Rahmen der amtlichen Flugerprobung des Tornados beauftragt“, so Galleithner. „Es galt, die anfänglich aufgetretenen Flugeigenschaftsprobleme der damaligen Tornado-Prototypen mit zu analysieren und zu bewerten. Da kamen erstmals am Institut entwickelte rechnergestützte Verfahren erfolgreich zum Einsatz.“

Bereits Ende der Achtzigerjahre hatte Hans Galleithner erste Entwürfe des Flugsteuersystems (FCS) und flugmechanische Rechnungen zum geplanten Eurofighter, der damals noch Jäger 90 hieß, auf dem Schreibtisch. „Alles war als geheim eingestuft und musste nach Dienstschluss ‚weggesperrt‘ werden“, erzählt der Flugversuchingenieur aus dieser aufregenden Zeit. Das Institut beschäftigte sich intensiv mit den Anforderungen an die Flugeigenschaften für solch ein europäisches Flugzeug und Galleithner erhielt den Auftrag, im Team mit weiteren Spezialisten den Entwurf für die Flugeigenschaftsspezifikation des Eurofighters zu erarbeiten. Nach etwa einem Jahr Arbeit lieferte das Team ein Papier an das Entwicklerkonsortium der Industrie mit von vier Nationen akzeptierten Spezifikationen ab. Es folgten immer wieder Berichte aus der Industrieerprobung, Organisation, Durchführung amtsseitiger Previews, Mitarbeit in Official Test Center (OTC)-Arbeitsgruppen: „Die Meinung des DLR zu dem Projekt war sehr gefragt und anerkannt.“

Neben den Anstrengungen für den Eurofighter ist Galleithner eine Versuchskampagne mit der Transall im Winter 1992 in besonderer Erinnerung geblieben: Das Institut war beauftragt, Daten aus Flug- und Bodenrollversuchen für ein mathematisches Modell der Transall zu gewinnen, das in Pilotenausbildungs- und -trainingssimulatoren angewendet werden sollte. „Gegen Ende der Kampagne fehlten uns immer noch Daten über die Eigenschaften der Transall beim Rollen auf



Hans Galleithner

Leitung DLR-Außenstelle Manching 1975–2005

Ausbildung zum Flugversuchingenieur: Testpilotschule EPNER (Ecole du Personnel Navigant d’Essai et de Reception) in Istres, Frankreich

Begleitung von Flugerprobungen unter anderem bei Tornado, F-4 Phantom, Transall, X-31, Eurofighter

Ina Rüdinger

Leitung DLR-Außenstelle Manching seit 2010

Ausbildung zur Flugversuchingenieurin an der National Test Pilot School (NTPS) in Kalifornien, USA

Begleitung von Flugerprobungen unter anderem bei A400M, Eurofighter

Oliver Brieger

Leitung DLR-Außenstelle Manching 2005–2010

Ausbildung zum Flugversuchingenieur an der U.S. NAVAL Test Pilot School (USNTPS) in Maryland, USA, und an der National Test Pilot School (NTPS) in Kalifornien, USA

Begleitung von Flugerprobungen unter anderem bei X-31, Eurofighter



Ina Rüdinger, damals noch Niewind, bei einer Erprobungskampagne mit dem Airbus A400M im Jahr 2012



Michael Pusch, Flugsicherheitsoffizier der Bundeswehr in Manching (rechts) im Gespräch mit Ina Rüdinger und Oliver Brieger vom DLR



Hans Galleithner vor dem „Pacer“ der Wehrtechnischen Dienststelle 61. Als Kalibrierungsflugzeug leistete die F-4 Phantom mit der orangefarbenen Sonderlackierung bis zur Außerdienststellung 2008 wertvolle Beiträge.

schneebedeckten Bahnen und dann hatte es eines Morgens reichlich, wohl 15 Zentimeter, frisch geschneit“, berichtet er. „Ich schaute aus dem Fenster und erkannte sofort: Dies ist die Gelegenheit für die lange geplanten Rollversuche mit der Transall auf verschneiter Piste.“ Kurzerhand wurde auf dem Flugplatz in Manching angerufen: „Die Rollwege im Osten des Platzes nicht räumen!“ Der Anruf erreichte den Räumdienst noch rechtzeitig. „Wir hatten die Testprogramme vorbereitet. Flugzeug und Testcrew waren bereit und wir rollten raus auf den frisch gefallenen Schnee, zogen bei verschiedenen Geschwindigkeiten enge Kurven, auch mit asymmetrischer Triebwerksleistung, und ermittelten das Bremsverhalten auf der weißen Pracht.“ Mit der Auswertung dieser auf den letzten Drücker gewonnenen Roll-Daten stand anschließend ein vollständiger mathematischer Datensatz der Transall zur Verfügung.

Tests in vier europäischen Ländern

Bis Hans Galleithner 2005 in den Ruhestand ging, hielt er das DLR-Ruder in Manching in der Hand. Dann übernahm es Oliver Brieger, der zuvor bereits in den USA am X-31-Programm mitgearbeitet hatte und 2003 zum DLR gekommen war. Die X-31 war ein einstrahliges Experimentalflugzeug US-amerikanisch-deutscher Koproduktion, das erste X-Flugzeug mit internationaler Beteiligung. Die Maschine diente zur praktischen Erprobung der Schubvektorsteuerung. Diese erlaubt es, sehr enge Manöver zu fliegen und auf extrem kurzen Bahnen zu landen. Bereits 1990, als erste Tests der X-31 anliefen, erhielt das Institut den Auftrag, bei Analyse und Bewertung der Flugeigenschaften mitzuwirken. Die wissenschaftliche Begleitung der X-31-Erprobung sowie vor allem die Eurofighter-Flugerprobung sollten für Oliver Brieger in den fünf Jahren seiner Leitung zur Hauptaufgabe werden: „Ich war in dieser Zeit Teil des sogenannten integrierten Testteams für den Eurofighter“, erzählt der heute 41-Jährige. „Alle am Eurofighter beteiligten Staaten schickten Flugversuchsingenieure in dieses Team und die Tests selbst fanden dann in vier verschiedenen europäischen Ländern statt.“ So wurden beispielsweise die Flugeigenschaften des Eurofighter erprobt, ebenso wie die Flugleistung, die Flugregelung und das Luftdatensystem.

„Bei der Bewertung der Flugeigenschaften, beziehungsweise der Handling Qualities, wie die Experten sagen, wird untersucht, wie das Flugzeug auf die Steuereingaben des Piloten reagiert, ähnlich wie das Handling eines Autos beim Slalomfahren oder beim berühmten Elch-Test untersucht wird“, erläutert Brieger. „Es muss dabei sichergestellt werden, dass auch bei sehr aggressiven Steuereingaben und anspruchsvollen Flugmanövern wie der Luftbetankung, das Flugzeug beherrschbar bleibt und sich gutmütig verhält.“ Bei Flugzeugen mit elektrischer Fly-by-Wire-Steuerung lässt sich das gewünschte Verhalten maßschneidern. Dafür hat das DLR entsprechende Testmethoden entwickelt. Darüber hinaus wurde im Eurofighter erstmals das Konzept des sogenannten Carefree-Handlings umgesetzt.“ Das heißt, der Pilot kann beliebige Steuereingaben machen, ohne befürchten zu müssen, dass das Flugzeug einen Strömungsabriss erleidet oder die strukturellen Grenzen überschritten werden“, so der Flugversuchsingenieur. Die Erprobung dieser Fähigkeit umfasste zahllose Eurofighter-Testflüge mit extremen Manövern, bei denen in schneller Abfolge beispielsweise Lastvielfache zwischen -3g und +9g auf die Besatzung wirken; eine extreme Belastung.

Ein Geschwader im Flugtest

Schließlich übernahm Ina Rüdinger 2010 die DLR-Außenstelle in Manching. Oliver Brieger wechselte als Leiter zum DLR-Forschungsflugbetrieb. Die Flugversuchsingenieurin hat eine

besondere Liebe zu den großen „Brummern“ entwickelt, begleitet sie doch, seit sie 2007 zum DLR kam, die Flugerprobung und Bewertung der neuen Bundeswehr-Transportmaschine A400M. Sie ist heute Projektleiterin für die DLR-Aktivitäten bei der Erprobung des A400M. Neben Transportflugzeugen üben aber auch schnellere Flugzeuge wie der Eurofighter eine Faszination auf sie aus – und das nicht erst, seitdem sie auf dem Rücksitz einer F-4 Phantom mitfliegen konnte.

In diesem Jahr hat sie gemeinsam mit Kollegen der DLR-Außenstelle, der WTD 61 und dem Systemunterstützungszentrum Eurofighter eines der spannendsten Projekte der letzten Jahre bestritten. Dabei ging es um die Einführung eines Flugtestverfahrens in operationelle Geschwader, die sonst keine Tests dieser Art durchführen. Ihr Team sorgte dabei für den wissenschaftlichen Unterbau zur Auswertung, für die Anpassung des Verfahrens an die Gegebenheiten in den Geschwadern und gemeinsam mit den Projektpartnern für die Einweisung von Piloten, Technikern, Fluglotsen und Wetterbeobachtern vor Ort. „Dabei hat es sehr geholfen, an der Schnittstelle zwischen den wissenschaftlichen Möglichkeiten des DLR und den konkreten versuchstechnischen Fragestellungen der Bundeswehr mitzuwirken.“

Zurzeit arbeitet Ina Rüdinger mit einem vierköpfigen Team an der Manchinger DLR-Außenstelle. „Diese starke Stellung vor Ort möchten wir auf jeden Fall weiter ausbauen und die Kompetenzen des DLR zukünftig noch breiter bei der Flugerprobung und bei der technischen Bewertung in der Bundeswehr einbringen.“

Neben der konkreten wissenschaftlichen Begleitung von Flugversuchen ist das DLR in Manching beratend tätig. Ina Rüdinger hat wie ihre beiden Vorgänger viel Schreibtischarbeit zu erledigen. Für A400M und Eurofighter kommen viele Berichte zur Prüfung zu ihr. Detaillierte technische Auswertungen sind das, zu denen sie wiederum ihre Stellungnahmen verfasst. Immer wieder stehen für die Flugversuchsingenieurin auch Dienstreisen auf dem Programm, auf denen sie Bundeswehrkollegen zu Sitzungen internationaler Gremien für die Projekte begleitet.

Die DLR-Außenstelle in Manching schafft einen engen Kontakt zur Flugerprobung der Bundeswehr, der notwendig ist, um teils aufwändige Versuchsreihen eng abgestimmt zu planen und auf den Flugplatz zu bringen. Hans Galleithner hat diese vertrauensvolle Zusammenarbeit aufgebaut. Oliver Brieger führte sie fort und nun liegen die Geschicke in Ina Rüdingers Hand. In Manching ist zu spüren, wie aus Erfahrung, Kontinuität, fachlicher Kompetenz und Begeisterung geachtete Kompetenz gewachsen ist. Ein gutes Fundament für die zukünftig noch engere Zusammenarbeit. ●



Bild: EADS

Erprobte Zusammenarbeit

Kurzinterview mit dem Bundeswehr-Cheftestpiloten in Manching Robert Hierl

Das Interview führte Falk Dambowsky



Bild: WTD 61

Robert Hierl im Cockpit des Eurofighter

Was ist die Aufgabe der WTD 61 und wie ist die Flugerprobung bei der Bundeswehr organisiert?

Die WTD 61 versteht sich als Kompetenzzentrum für militärisches Luftfahrtgerät. Daraus ergaben sich die Tätigkeitsfelder Flugversuch, fachtechnische Betreuung und Zulassung. Die Zulassung ist zum 1. Oktober 2014 weggefallen und migriert in das neue Luftfahrtamt der Bundeswehr. Unsere Flugerprobung findet auf allen Mustern der Bundeswehr statt, dazu verfügen wir über einen entsprechenden Kader von Testbesatzungen und Flugversuchsingenieuren. Auch in Sachen Messtechnik ist die WTD 61 sehr gut aufgestellt. Wenn Erprobungen anstehen, werden sogenannte wehrtechnische Aufträge erstellt, die wir dann fachgerecht abarbeiten.

Welche Bedeutung hat die Außenstelle des DLR in Manching für die Flugerprobung der Bundeswehr?

Unter dem steigenden Kostendruck musste sich die Bundeswehr seit den Neunzigerjahren extrem verkleinern, das machte auch vor der WTD 61 nicht halt. Wir schrumpften seither etwa um zwei Drittel! Das bedeutete gerade im Bereich der Fachtechnik einen enormen Aderlass. Dort, wo wir eigene Kompetenz einbüßten, beispielsweise im Bereich der Flugmechanik und Flugregelung, sprang das DLR ein und unterstützte uns bei komplexen ingenieurwissenschaftlichen Fragestellungen.

Wie arbeiten Sie als Testpilot der Bundeswehr mit den Flugversuchsingenieuren des DLR konkret zusammen?

Ich persönlich war schon früh als Bundeswehr-Testpilot im Eurofighter-Programm tätig. Dort galt zumindest im Entwicklungsstadium das digitale Fly-by-Wire-Flugsteuerungssystem als Königsdisziplin. In dieser ebenso komplexen wie faszinierenden Materie standen uns, und gerade auch mir als Ingenieurpiloten, die Mitarbeiter der DLR-Außenstelle beratend zur Seite. Ich empfand diese Kooperation stets als enorm wertvoll. Auch persönliche Freundschaften sind aus dieser vertrauensvollen Zusammenarbeit entstanden, wie zum Beispiel zu Hans Galleithner, einem echten Urgestein unter den Flugversuchsingenieuren.

In eisigem Wind

Teil 4 der Serie „Die Windmaschinen“

Die niedrigstehende Herbstsonne dringt durch den Morgennebel, der sich mit weißem Dampf mischt und einer achteckigen Betonkonstruktion ein mystisches Ambiente verleiht. Schon mancher Besucher des DLR Köln fragte – halb rätselnd, halb beeindruckt –, um was für eine Anlage es sich bei der Stahlbetonröhre im Norden des Standorts denn handele. Die Antwort ist schnell gegeben: der Kryo-Kanal Köln (KKK). Die Erklärung bedarf einiger Worte mehr.

Der Kryo-Kanal Köln der DNW

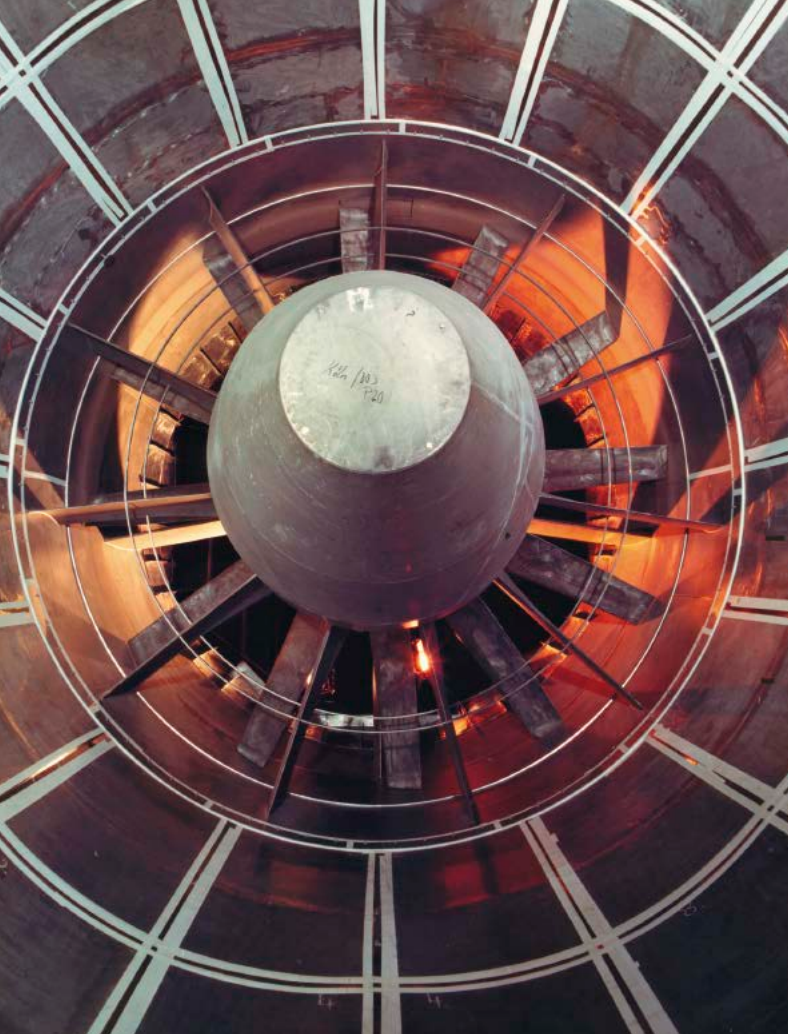
Von Michel Winand

Der kryogene Unterschallwindkanal ist einer von weltweit drei Windkanälen für aerodynamische Untersuchungen in der Luft- und Raumfahrt sowie der Verkehrsforschung und wird von der Stiftung Deutsch-Niederländische Windkanäle (DNW) betrieben. Die DNW ist eine vom DLR und dem Dutch National Aerospace Laboratory (NLR) gegründete gemeinnützige Stiftung nach niederländischem Recht. 1962 nahm der Kanal als erste Versuchsanlage am neuen Standort der Deutschen Versuchsanstalt für Luftfahrt (DVL) seinen Betrieb auf. In seinen 52 Jahren hat der Windkanal an der Entwicklung von vielen Generationen von Luftfahrzeugen mitgewirkt: Der Alpha Jet wurde hier ebenso getestet wie der Jet-Trainer MAKO und der Airbus A380. Doch auch Schienenfahrzeugmodelle wie der Next Generation Train durchlaufen hier ihre aerodynamische Erprobung. Die Deutsche Bahn zertifizierte den Kryo-Kanal Köln dafür, Messungen für die Abnahme von Hochgeschwindigkeitszügen durchzuführen. Namhafte Industrieunternehmen wie Bombardier, Siemens und Alstom sind genauso Kunden beim kryogenen Windkanal der DNW wie die Solarforscher des DLR, die hier den Einfluss von Wind auf spezielle Solar-Receiver von Turmkraftwerken testen.

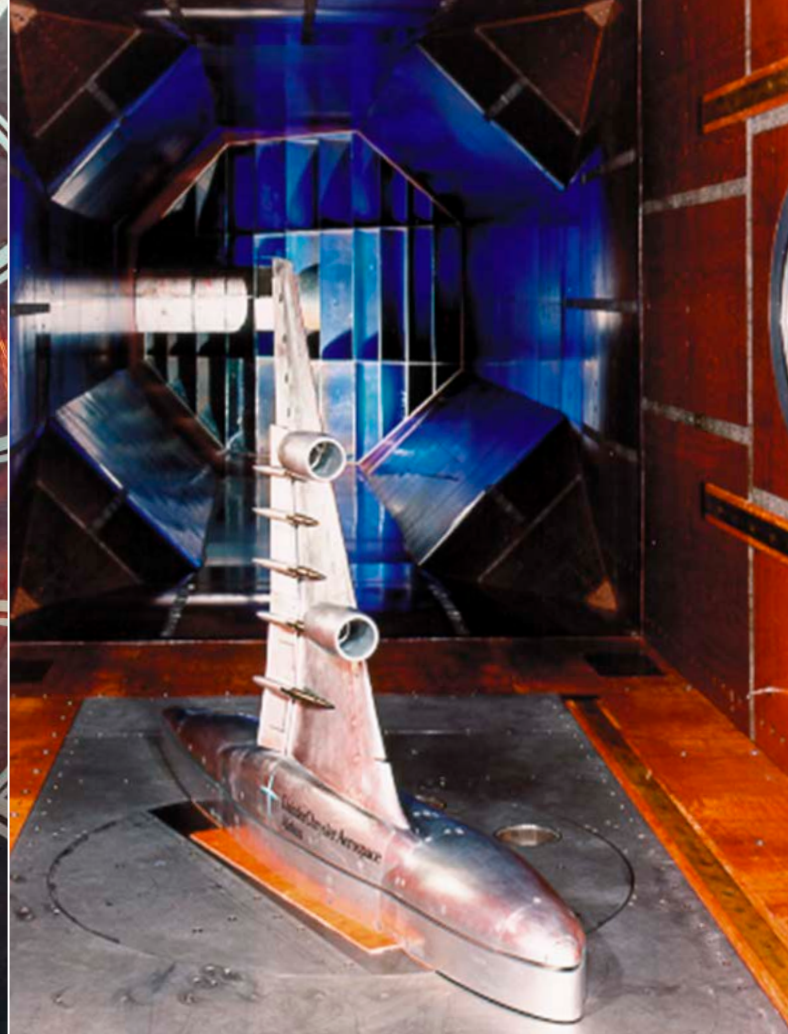
Altbewährte und moderne Technik

Ein neues Aufgabengebiet ist es, Windkraftprofile zu untersuchen. Durch die immer größer werdenden Offshore-Windkraftanlagen werden auch hier hohe Reynoldszahlen bei kleiner Machzahl erreicht. (Die Reynoldszahl beschreibt das Verhältnis von Trägheitskraft zur Reibungskraft, die Machzahl gibt das Verhältnis zur Schallgeschwindigkeit an.) Hier ist aerodynamisches Fachwissen gefragt, das aus der Luftfahrtforschung stammend im DLR eine lange Geschichte hat.

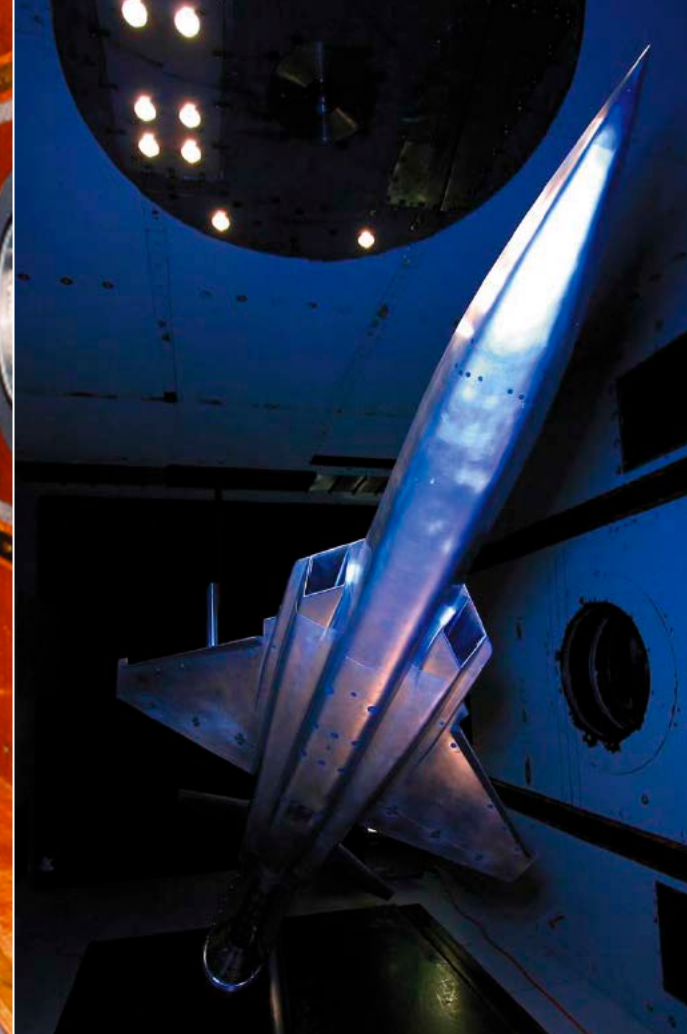
Dem Konstruktionsprinzip nach ist der KKK ein Umlaufkanal, wie ihn der Göttinger Wissenschaftler Ludwig Prandtl bereits Anfang des 20. Jahrhunderts ersann. Der Windkanal ist 135 Meter lang, verfügt über eine geschlossene Messstrecke und erreicht Geschwindigkeiten bis zu 0,38 Mach, was rund 420 Kilometern in der Stunde entspricht. Soweit nichts Besonderes – zumindest nicht in der Welt der Windkanäle. Das Besondere des Kanals liegt im ersten „K“. Die Temperatur der durch den Kanal strömenden Luft, des sogenannten Kanalgesetzes, kann



Der riesige Rotor erzeugt Windgeschwindigkeiten von rund 490 Kilometern pro Stunde



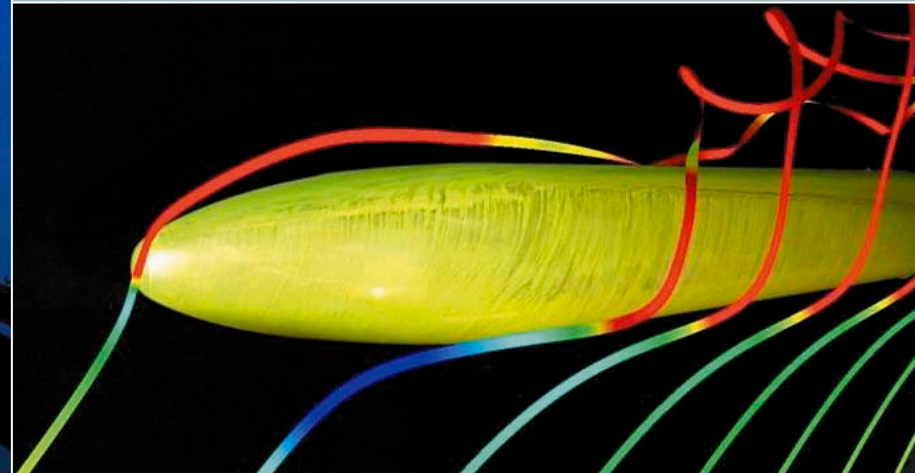
Halbmodell eines Airbus A380 im Windkanal – abhängig von der Fragestellung reichen schon Teile der Gesamtstruktur für präzise Messungen aus



Das Modell des Jet-Trainers MAKO zeigt, wie variabel die Strömung bei verschiedenen Flugmanövern im Windkanal untersucht werden kann



SERIE WINDKANÄLE | DLR magazin 144 | 57
Mit diesem Zugmodell aus kohlenstofffaserverstärktem Kunststoff messen die DLR-Wissenschaftler unter anderem den Lärm eines Hochgeschwindigkeitszuges



Computersimulation des Effekts von Seitenwind auf ein Zugmodell. Bei Windkanaltests werden auch die bei numerischen Simulationen verwendeten Daten überprüft.

zwischen 300 und 100 Kelvin variiert werden. Dies entspricht der Spanne von plus 27 bis minus 173 Grad Celsius. Erreicht werden die extremen Minusgrade durch das Einspritzen von flüssigem Stickstoff. Dieser flüssige Stickstoff wird in großen Tanks neben dem Gebäude gelagert. Kommt er zum Einsatz, sorgt er für die eingangs beschriebene, zuweilen pittoreske Stimmung um das Gebäude.

Bei der dann erreichten tiefen Temperatur des Kanalgesetzes lässt sich die Reynoldszahl steigern. Vereinfacht gesagt, werden die Luftmoleküle durch die extreme Kälte gefroren, wodurch sich die freie Lauflänge der Moleküle verkleinert. So lässt sich das Größenverhältnis der Luftmoleküle an den Maßstab der Windkanalmodelle anpassen. Im Ergebnis erhalten die Wissenschaftler hochpräzise Messergebnisse unter realitätsnahen Bedingungen. Denn im Gegensatz zu den nicht kryogenen Windkanälen können im KKK die Einflüsse von Mach- und Reynoldszahl auf die aerodynamischen Werte der Windkanalmodelle separat untersucht werden.

„Die Technik des Kanals ist aufwändig: Allein für das Abkühlen des Kanalgesetzes, das Reduzieren seiner Feuchte und das Herunterkühlen der Dämmschichten der Anlage werden etwa 80 Tonnen Stickstoff benötigt. Um den Windkanal wirtschaftlich betreiben zu können, arbeiten wir im Schichtbetrieb“, sagt Dipl.-Ing. Rüdiger Rebstock, Leiter des Kryo-Kanals Köln. Durch den Schichtbetrieb erreicht Rebstock mit seinen Mitarbeitern auch eine hohe Effizienz. Bis zu 15 verschiedene Versuchskonfigurationen können in einer Woche unter eiskalten Bedingungen getestet werden.

Anspruchsvolle Messverfahren

Bei diesen eiskalten Tests kommt hochmoderne Messtechnik zum Einsatz. Zur Dokumentation der aerodynamischen Eigenschaften der Windkanalmodelle werden neben herkömmlichen Kraft- und Druckmessverfahren (beispielsweise Dehnmessstreifen) auch Hitzdrahtverfahren (temperaturabhängige Messung von elektrischen Widerständen zur Ermittlung der Strömungsgeschwindigkeit) und Heißfilmverfahren (Luftmassenmessung) eingesetzt. Zur Bestimmung des Übergangs von laminarer zu turbulenter Strömung auf Flügelprofilen wird neben der Infrarotmesstechnik das sogenannte TSP (Temperature Sensitive Paint) angewendet. Hierbei wird die Temperaturveränderung, die beim Strömungsumschlag entsteht, durch Farbe sichtbar gemacht. Diese Information ist wichtig, um die Vergleichbarkeit von Rechenverfahren und numerischer Simulation zu überprüfen. Neue laser-optische Messverfahren wie die Particle Image Velocimetry (PIV) vervollständigen das Portfolio der Einrichtung. Bei den PIV-Messungen werden dem Kanalgas Partikel hinzugefügt, die in schneller Abfolge mit einem pulsierenden Laser beleuchtet und von einer Kamera fotografiert werden. Anhand der veränderten Position der einzelnen Partikel lassen sich die Bewegungsrichtung und die Geschwindigkeit der Strömung ermitteln.

Die extremen Minustemperaturen in der Messstrecke stellen besondere Anforderungen an die Messtechnik und auch an die Windkanalmodelle selbst. Für die Modelle können nur Materialien verwendet werden, die auf Temperaturschwankungen nicht mit einem übermäßigen Schrumpfen oder Ausdehnen reagieren.

Diese Effekte würden die Aerodynamik und somit die Messergebnisse verfälschen. Ein großer Vorteil des Kältekanals allerdings ist, dass auch Modelle aus speziellen Aluminiumlegierungen, Stahl oder kohlefaserverstärktem Kunststoff eingesetzt werden können. Denn die auf solche Modelle wirkende Drucklast ist im Kryo-Kanal geringer als in Windkanälen, die unter Druck betrieben werden.

Mit dem Zug im Kanal

Von den Vorzügen des KKK versprochen sich auch die Bahnforscher im DLR etwas: Sie testeten Modelle eines künftigen Hochgeschwindigkeitszuges im eisigen Wind. „Die Möglichkeiten des Kryo-Kanals waren für uns wichtig, weil nur in ihm die für uns maßgebliche Reynoldszahl erreicht werden kann“, sagt Dr. Joachim Winter, Leiter des DLR-Projekts Next Generation Train (NGT). „Im KKK haben wir gelernt, dass wir zur Modellierung der Strömungen am NGT nicht nur den Triebwagen brauchen, sondern auch den Mittelwagen, also einen Waggon“, resümiert Winter. In Köln fanden er und seine Kollegen nicht nur eine ausreichend lange Messstrecke, sondern – nach Verstärkung des Windkanalrotors – auch die der Realität am nächsten kommenden Bedingungen.

Vom Bezug der Testobjekte zu unserem Alltag ist allerdings kaum etwas zu ahnen, wenn man an dem fensterlosen Beton-Koloss vorbeigeht. Schon gar nicht, wenn er sich von Zeit zu Zeit in eine mystische Dampfwolke hüllt. ●

Gute Nachbarschaft

Der Kryo-Kanal ist mit seinem besonderen Leistungsspektrum in Köln in guter Gesellschaft: Auf dem Gelände des DLR befinden sich außerdem die Über- und Hyperschallkanäle sowie der lichtbogenbeheizte Windkanal des DLR-Instituts für Aerodynamik und Strömungstechnik. Kleinere Versuchskanäle werden vom Institut für Antriebstechnik betrieben, während im benachbarten Europäischen Transschall Windkanal kryogene Bedingungen im Überschallbereich erzeugt werden können.

Der Kryo-Kanal Köln in Zahlen

Kanallänge	135 Meter
Messstrecke	2,4 x 2,4 x 5,4 Meter
Temperatur	100 bis 300 Kelvin
Antriebsleistung	1,4 Megawatt
Baujahr	1961
Geschwindigkeit	bis Mach 0,4

Der Sekunde auf der Spur

Selten hatte ein Landgraf ein so tiefgehendes naturwissenschaftliches Wissen wie Wilhelm IV. von Hessen-Kassel. Vor allem seine Kenntnisse über das Himmelsgeschehen brachten ihm hohes internationales Ansehen ein. Das Astronomisch-Physikalische Kabinett in Kassel erzählt, wie die Astronomie in die Region kam, und zeigt so manche technische Rarität.

Im Astronomisch-Physikalischen Kabinett in Kassel

Von Jan-Martin Altgeld

So viel vorweg: Dieser Museumsbesuch kann ermüden. Er kann aber auch für Staunen sorgen und einen Aha-Effekt nach dem anderen auslösen. Welche der beiden Wirkungen eintritt, liegt vor allem an der Einstellung des jeweiligen Besuchers. Wer die Bereitschaft mitbringt, etwa 90 Minuten ein bisschen analytisch-naturwissenschaftlich zu denken, wird belohnt. Wer sich einlässt auf die irgendwie magisch anmutenden Kästchen mit ihren unzähligen Zahnrädern, auf filigran verzierte Winkelmesser und prunkvolle Uhren, dem wird die überwältigende Erkenntnis zuteil, zu welcher technischer Präzisionsarbeit Menschen schon vor 500 Jahren imstande waren.

Bereits im Foyer des Hauses schwingt erlebbare Geophysik durch den Raum: ein Nachbau des Foucaultschen Pendels, das die Erdrotation optisch erfahrbar macht. „Vor allem Schülergruppen hocken lange hiervoor und warten, bis das Pendel den nächsten Stift umhaut“, erzählt Karsten Gaulke, wissenschaftlicher Leiter des Hauses.

Der eigentliche Ausstellungsbeginn datiert jedoch knapp 300 Jahre vor Foucaults berühmtem Versuch. „Ein Laie, der hier reinkommt und sich eine Schau über Astronomie ansehen will, erwartet erst mal ein Fernrohr“, sagt Gaulke. Doch das gab es Mitte des 16. Jahrhunderts noch nicht, dafür aber zahlreiche andere interessante Apparaturen. Zum einen ist da die Wilhelmsuhr – eines der wichtigsten Stücke der Sammlung und Edelspielzeug eines Mannes, dessen Name untrennbar mit dem Astronomisch-Physikalischen Kabinett verbunden ist: Landgraf Wilhelm IV. von Hessen-Kassel. Was die zahlreichen Zeiger auf den goldverzierten Zifferblättern veranschaulichen? Nichts Geringeres als die Wanderbewegungen von Jupiter, Saturn, Mars, Venus, Merkur und dem Mond – zwar noch nach geozentrischem Weltbild, im Jahr 1562 dennoch eine technische Sensation. Gefertigt wurde das Präzisionsgerät vom Architekten und Uhrmacher Eberhard Baldewein, Theorie und Baupläne gehen aber nahezu komplett auf Wilhelm IV. zurück. Museumsleiter Gaulke: „Er hat alle notwendigen Getriebeunter- und Übersetzungen selbst ausgerechnet. Er hat gesagt: ‚dieses eine Rädchen braucht 72 Zähne, das nächste dann 300‘ und so weiter.“ Eine Fähigkeit, die für damalige Fürsten alles andere als gewöhnlich war.

Auch ‚richtige‘ Uhren gibt es in Kassel zu sehen. Und zwar solche, die schon vor über 400 Jahren eine erstaunliche Genauigkeit aufwiesen. Mit Hilfe einer neuen Regulierungstechnik, der sogenannten Kreuzschlaghemmung, entwickelte der Instrumentenbauer Jost Bürgi ein Gerät, das die Zeit auf Minutenbruchteile genau bestimmen konnte – zum Zweck der Arbeitsoptimierung auf der Sternwarte. „Im Grunde ist hier die Sekunde erfunden worden“, sagt Gaulke.

Dass die Astronomie in vielen Bundesländern aus dem Lehrplan der Schulen verschwunden ist, bedauert der Museumsleiter sehr. Umso wichtiger sei es, dass Kinder und Erwachsene einige Exponate auch anfassen dürfen und sollen – zumindest

die Nachbauten. Ein Original und im wahrsten Sinne des Wortes unantastbar ist hingegen der sogenannte Wilhelmsquadrant: ein Instrument, das es damaligen Astronomen erlaubte, Winkel und damit Abstände von Fixsternen zueinander zu messen – mit bloßem Auge und mit Hilfe von Kimm und Korn. Auch die Polhöhe von Kassel konnte damit bestimmt werden.

Zu nahezu jedem Ausstellungsstück gibt es einen detaillierten beschreibenden Text. „Wir wissen natürlich: Nicht jeder will im Museum unbedingt viel lesen“, sagt Gaulke. „Deshalb bieten wir auch Führungen an, in denen wir die Hintergründe mit eigenen Worten erklären.“ Für Kinder hat das Haus Schüler-Rallies im Programm oder auch das Labor Funkenflug, in dem historisch-physikalische Experimente nachgestellt werden.

Und hinten, ganz hinten im Astronomieraum, findet man sie schließlich doch noch: Fernrohre. In allen Größen und Varianten hängen sie unter der Decke oder stehen auf Stativen im Saal. Besonders über die Ungetüme unter den Fernrohren muss der Wissenschaftshistoriker Gaulke ein wenig schmunzeln: „Manche waren tatsächlich bis zu 30 Meter lang. Da konnte man oft gar keine Sichtverbindung mehr herstellen. Die Rohre haben sich einfach durchgebogen.“ ●



Weitere Informationen:
www.museum-kassel.de

Das Astronomisch-Physikalische Kabinett

Das Museum beleuchtet die Entwicklung der Astronomie ab circa 1560 und zeigt verschiedene historische Instrumente und Hilfsmittel. Mehrere Räume unterteilen die Ausstellung in die Bereiche Astronomie, Uhren, Geodäsie, Physik und Mathematik/Informationstechnik. Zusätzlich verfügt das Kabinett über ein eigenes Planetarium.

Öffnungszeiten

Di–So und feiertags 10–17 Uhr, Do 10–20 Uhr, montags geschlossen

Eintritt

3 Euro, ermäßigt 2 Euro, Kinder bis 18 Jahre frei

Planetarium

4 Euro, ermäßigt 3 Euro, Kinder bis 18 Jahre 2 Euro



Mit dem Himmelsquadranten (großes Bild im Vordergrund) wurden die Abstände von Fixsternen bestimmt. Rechte Spalte: Der Hausherr Karsten Gaulke am Foucaultschen Pendel. Im Astronomieraum (3. v. oben) ist das Planetenwerk von Eberhard Baldewein zu bewundern, die sogenannte Wilhelmsuhr (unten rechts).

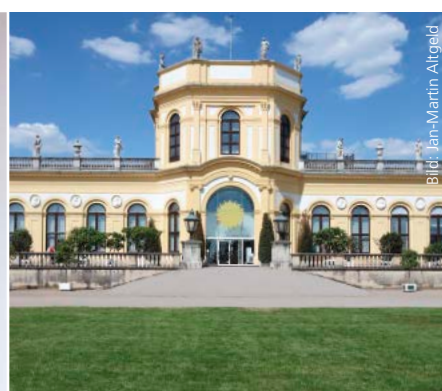


Bild: Jan-Martin Altgeld



Bild: Jan-Martin Altgeld



Bild: Jan-Martin Altgeld



Bild: Astronomisch-Physikalisches Kabinett (APK), Kassel

Die Welt auf Papier gebannt

„Ich höre, dass es Menschen gibt, die sich nichts aus Karten machen, und es fällt mir schwer, das zu glauben.“ Derjenige, der dies schrieb, hat selbst eine der bekanntesten Karten gezeichnet – und damit die Fantasie seiner Leser angefacht: Robert Louis Stevenson veröffentlichte 1881 „Die Schatzinsel“ und zeichnete eine Karte mit dem magischen „X“. Hier, genau an dieser Stelle, liegt der Schatz von Captain Flint. Wer mit dem Finger dorthin fährt, reist fast schon mit den Piraten mit, um die Schatzinsel zu betreten. Diese berühmte Karte mit dem verborgenen Schatz darf natürlich nicht fehlen in Simon Garfields Sachbuch **Karten! Ein Buch über Entdecker, geniale Kartografen und Berge, die es nie gab (Theiss Verlag)**.

Wobei: Sachbuch? Nicht so wirklich, denn Garfield referiert hier nicht über die Geschichte der Kartografie, sondern schreibt Geschichten, in denen die Karten die Hauptrolle spielen. Dabei stöbert er auch Anekdoten auf, wie man sie sich kaum besser hätte ausdenken können. Zum Beispiel die Kong-Berge: 1798 wuchsen sie bei Kartograf James Rennells Afrika-Karte in die Höhe, ungefähr dort, wo der Reisende Mungo Park von nicht mehr als zwei oder drei Gipfeln erzählt hatte. Tausende Kilometer lang quer durch Westafrika, eine unüberwindbare Barriere. Und alle glaubten dem berühmten Vermesser Rennell, malten schneebedeckte Kong-Berge in ihre Karten, erfanden benachbarte Mondberge und ließen das Gebirge in ungeheuerliche Dimensionen wachsen. Während die Einwohner Afrikas an eben dieser Stelle noch nicht einmal die Steigung einer Hügelkette, geschweige denn einen Berg, zu bewältigen hatten. Erst ein französischer Offizier, der sich vor Ort selbst umschaute, radierte die Kongberge wieder aus der Kartografiegeschichte aus. Gleiches widerfuhr den zahlreichen Inseln, die der amerikanische Kapitän Benjamin Morrell mit seinen Erzählungen in die Karten und Atlanten brachte. Falsche

Koordinaten, zu viel Rum und daraus resultierende Übelkeit sowie den Wunsch, sich für die Nachwelt verewigen zu wollen, bescheinigte der britische Kapitän Sir Frederick Evans seinem Kollegen und merzte 123 Inseln von den Karten aus – inklusive dreier Inseln, die es tatsächlich gab.

Autor Garfield berichtet von Weltkarten, auf denen die unbekannten Gebiete schlichtweg mit schrecklichen Monstern zeichnerisch gefüllt wurden, von unehrenhaften Kartendieben, die in Bibliotheken mit der Rasierklinge den historischen Atlanten zu Leibe rückten, und von Phyllis Pearsall, die den Klassiker „London A-Z“ erfand und für das Register des Straßenatlas rund 23.000 Straßennamen auf Karteikarten alphabetisch sortierte. Übrigens: Ein Windstoß sorgte damals dafür, dass das „T“ zum Teil durchs Fenster flog und es der Trafalgar Square deshalb nicht ins Register schaffte. Karten, die in Computerspielen durch fantastische Landschaften führen, die beim Brettspiel „Risiko“ dem Krieg einen Spielplan geben, die in Hollywood zu den Häusern der Stars führen – Garfield hat sie alle aufgetrieben, ebenso die Klassiker wie die mittelalterliche „Mappa Mundi“.

520 Seiten oftmals sehr kurzweilige Episoden aus der Geschichte der Karten machen das Sachbuch ungemein unterhaltsam und lesenswert. Nur: Warum in aller Welt muss man sich damit begnügen, die so toll beschriebenen kunstvollen Karten nur kleinformig und in Schwarz-Weiß zu sehen? Wo sind die bunten Ausklappkarten mit den vielen Details, von denen Garfield schwärmt? Bei dem Plan der Londoner U-Bahn kann man noch ein Auge zudrücken, aber die verschnörkelten Drachen oder die kreativen Ortsbeschreibungen so mancher Karte würde man gerne in bunt und groß betrachten.

Manuela Braun

Vom holprigen Weg erster deutscher Automobile

Das erste deutsche Automobil ist Erfolgsstory und Trauerspiel zugleich. Das mag Autor Erik Raidt mit dazu bewogen haben, ein Buch über die Gründerjahre der deutschen Autoindustrie zu schreiben. Er gab ihm den Titel **Gottlieb Daimler und Robert Bosch**. Der Perfektionist Daimler, bei Weitem nicht von allen geliebt, kannte im reifen Alter von 61 Jahren Robert Bosch, war allerdings ganz und gar nicht davon überzeugt, dass Boschs Zündapparat den Automobilen guttun könnte. Er übte sich gegenüber dem 27 Jahre jüngeren Werkstattbesitzer und Tüftler in – sagen wir mal – vornehmer Zurückhaltung. Das historische Sachbuch aus dem **Theiss Verlag** hätte auch Otto, Benz oder Maybach im Titel führen können. Denn das, was Raidt beschreibt – Hartnäckigkeit, Erfindergeist und Erfolgswille, manchmal zu einem fragwürdigen Preis –, war allen gemeinsam.

Anhand von Tagebüchern, Briefen und anderen Dokumenten lässt der Stuttgarter Zeitungsredakteur Raidt die deutsche Gründerzeit ausgangs des 19. Jahrhunderts lebendig werden. Und wer bisher nur die Erfolgsgeschichte der deutschen Vorzeige-Industriellen kannte, bekommt ein vielschichtiges, hintergründiges, zuweilen auch desillusionierendes Bild jener Männer, die „Made in Germany“ zu einem positiven Image verhalfen. Allerdings: Beim Versuch, dem Geschichtsbuch zu gewissem Unterhaltungswert zu verhelfen, wirken manche Passagen etwas bemüht („...ein Leben voller Höhen und Schlaglöcher“). Auch hätte dem umfänglich recherchierten Text ein besseres Lektorat gutgetan.

Cordula Tegen



Lebensweisheiten von Major Tom

Er ist ein Astronaut mit Sendungsbewusstsein: Auf der Internationalen Raumstation ISS hat der Kanadier Chris Hadfield zur Gitarre gegriffen und mit dem umgetexteten David-Bowie-Lied „Space Oddity“ vielleicht eine der besten, aber sicherlich eine der emotionalsten Werbungen für die bemannte Raumfahrt gemacht. Er hat vor der Kamera Wasser aus Handtüchern gewrungen, sich die Zähne geputzt und ein Sandwich mit Erdnussbutter bestrichen. Alles, damit die Menschen auf der Erde besser verstehen, wie so ein Leben in Schwerelosigkeit funktioniert. Der Mann mit dem Schnäuzer ist dadurch zum Sympathieträger der Raumfahrt geworden.

Dasselbe Sendungsbewusstsein beweist er auch mit seiner Autobiografie **Anleitung zur Schwerelosigkeit. Was wir im All fürs Leben lernen können (Heyne)**: Gib dein Bestes, sei ein funktionierendes Rädchen im Team, sei nett zu deinen Mitmenschen. Fast gebetsmühlenhaft betont er es, denn er will, dass seine Leser sich seine Lebensweisheiten zu Herzen nehmen und umsetzen. Das ist ein wenig ermüdend, aber zugleich ist es auch einfach glaubhaft, dass Hadfield diesen ehrenhaften Prinzipien, so gut es geht, folgt.

Spannend wird es immer dann, wenn er von seinen Vorbereitungen für seine Flüge ins All berichtet, beschreibt, wie er seinen Weltraumausstieg erlebt hat, oder schlichtweg den Alltag in der ISS erklärt. Riecht es eigentlich in der Raumstation, wenn alle Astronauten so selten ihre Kleidung wechseln? Wie geht das, wenn man in der Sojus-Kapsel aufs Klo gehen möchte, aber keine Toilette an Bord ist? Und womit vertreiben sich die Astronauten am liebsten die Zeit, wenn sie in ihrem eng getakteten Arbeitsplan unvermutet ein paar Minuten gewinnen?

Chris Hadfield ist kein feuilletonistischer Schreiber. Was er sagen will, schreibt er auch hin, direkt und fast so, wie er spricht. Die 367 Seiten sind vielleicht auch deshalb schnell gelesen. – Wenn ein Astronaut so sympathisch und ohne Schnörkel von seinem Werdegang und seinen Erlebnissen im All berichtet und Raumfahrt sehr menschlich wird, warum sollte man dann das Buch immer wieder zur Seite legen?

Manuela Braun





Zwischen Belanglosem und Anspruchsvollem

Vielleicht hätte man Stephen Hawking nicht selbst seine **Kurze Geschichte (der Hörverlag)** schreiben lassen sollen. Zwei Stunden und 34 Minuten liest Frank Arnold, was Hawking für wichtig erachtet hat und in seiner Autobiografie wiederfinden wollte. Und hier liegt das Problem: Hawking findet nicht so recht den Mittelweg zwischen alltäglichem Leben und wissenschaftlichen Themen. So erzählt er mal recht episodisch und nicht besonders tiefgehend und in einfacher Sprache von seiner Liebe zu seiner Spielzeugeisenbahn und seinen eher mittelmäßigen Schulnoten, mal serviert er seinem Zuhörer in wenigen Sätzen, zwischen welchen Themen er für seine Promotion geschwankt hat, und lässt ganz nebenher etliche Fachbegriffe fallen – und überfordert damit recht schnell den Wissensstand des durchschnittlich gebildeten Zuhörers. Der unvermutete Wechsel zwischen manchmal zu Belanglosem und manchmal zu Anspruchsvollem macht es nicht einfach, konzentriert bei der Stange zu bleiben.

Immerhin: Frank Arnold liest die Lebensgeschichte des Physikers mit angenehmer Stimme, gut betont und in der rechten Geschwindigkeit, setzt Pausen und hetzt nicht durch den Text. Ein Hörbuch, das man auch mal nebenher hören kann, ist „Meine kurze Geschichte“ dennoch nicht. Wer sich das lästige Drücken auf die Wiederholtaste ersparen möchte, tut gut daran, sich die gedruckte Ausgabe zu kaufen – da kann man zumindest schnell denselben Satz mehrfach lesen.

Manuela Braun



Weltraum einmal anders

Im Taschenbuch **1000 Gefahren im Weltall** von Edward Packard entscheidet der Leser – oder die Leserin – (ab zehn) selbst, wie die Handlung verläuft. Mit dem nagelneuen Raumschiff Athena ist ein schwarzes Loch zu erkunden. Das fast Unmögliche wagen oder abwarten? – Diese Frage stellt sich anhand verschiedener Probleme immer wieder aufs Neue. Die Situationen, in die das Raumschiff gerät, haben nur eines gemeinsam: Sie sind alles andere als ungefährlich. Und nicht immer gilt: Wer wagt, gewinnt. So kommt das Ende der Geschichte manchmal schneller als gedacht, oder man hat noch eine Chance und liest auf Seite XY weiter ...

Es ist eine tolle Idee, dass man eigenständig den Verlauf der Geschichte beeinflussen kann. Nicht umsonst erschienen in der Reihe „1000 Gefahren“ des **Ravensburger Buchverlags** schon mehr als zwei Dutzend Abenteuergeschichten. Allein mit Logik ist es nicht möglich, die richtigen Entscheidungen zu treffen, auch eine Portion Glück gehört dazu. Dies kann manchmal durchaus frustrierend sein, doch umso größer ist die Freude, wenn man die Mission erfolgreich absolviert hat. (Kleiner Tipp: Immer schön den Daumen auf der Seite mit den Entscheidungsfragen lassen, dann kann man per Rücksprung das Schicksal austricksen.)

Tobias Kolasinski



Faszination Flughafen

Der Hamburger Fotograf Werner Bartsch nimmt uns in seinem Bildband **Airtropolis** mit auf eine Reise hin zu Flughäfen abseits der alltäglichen Wahrnehmung. Das ästhetische Licht- und Schattenspiel der Flugzeuge, Hangars und Abfertigungshallen fängt er gekonnt ein. Unscheinbare Containerwagen, Gepäckabfertigungsbänder und Fluggastbrücken werden durch seine Kamera zu erstaunlich anmutigen Protagonisten. Bartsch begegnet Mensch und Technik an den Knotenpunkten unserer globalisierten Welt und lässt ihr Miteinander in seinen Fotografien aufblitzen. Unschärfen und Spiegelungen an ausgedehnten Glaselementen heutiger Terminals verdichtet er zu kleinen Bildgeschichten. Nicht mehr als 120 Seiten umfasst der Bildband, an dem sich vor allem Luftfahrtfans erfreuen dürften. Erschienen ist er im **Kehrer Verlag**.

Falk Dambowsky



Rosies Erfindung

Wie Rosie den Käsekopter erfand, wird in dem gleichnamigen Buch nicht klar. Auch nicht, warum das Fluggerät so heißt. Das ist auch egal. Der Weg ist das Ziel in dem nur 34 Seiten zählenden Kinderbuch aus dem Hause **Knesebeck**. Andrea Beaty (Text, gereimt von Reinhard Pietsch) will sagen, dass eine Bruchlandung erst eine Niederlage ist, wenn man aufgibt. David Roberts Illustration bringt ihre Intention in so schöne, einfache wie komplexe, bunte wie farblich harmonische, kleinteilige wie großformatige Bilder, dass allein diese den Erwerb des Buchs lohnen. Rosie, die kleine scheue Bastlerin, hat vom ersten Augenblick an die Sympathien auf ihrer Seite. Man verzeiht ihr das Werkstatt-Chaos unterm Bett sofort, gibt es doch in dessen Gewimmel so viel zu entdecken.

Mit der Absicht, den „We can do it“-Frauen der Nachkriegszeit ein Denkmal zu setzen, entstand ein ebenso tiefgründiges wie Spaß machendes Kinderbuch, das auch große Leute verzaubert. So entzückend und anrührend sind Text und Bilder, so humorig die Reime, so einfach die Botschaft. Und sollte einer der kleinen Leser doch die Frage stellen, was der Käse am Hubschrauber macht, dann ist des Vorlesers Fantasie inzwischen auf so wunderbare Weise angeregt worden, dass ihm garantiert etwas einfällt.

Cordula Tegen

Irrfahrt durch den Kopf

Der Titel führt in die Irre. Im Hörstück **Das Scheitern der bemannten Raumfahrt (Download unter: SWR2.de/hoerspiel)** spürt Karl-Sczuka-Preisträger Jan Jelinek dem Projekt „Biosphere“ nach. So hieß ein 1991 erbauter Gebäudekomplex in Tucson, Arizona, der heute von der University of Arizona genutzt wird. Ursprünglich sollte ein von der Außenwelt unabhängiges Ökosystem geschaffen werden. Mit dem Experiment Biosphere wollte man beweisen, dass in einem eigenständigen, geschlossenen ökologischen System Leben langfristig möglich ist. Es gilt als gescheitert. Der Autor des Hörstücks collagiert aus Texten der ehemaligen Kosmonauten Valentin Lebedev und Yuri Usachev sowie der Biosphere-Bewohnerin Jane Poynter (s)eine akustische Annäherung an „Biosphere“. Dabei interessiert ihn, warum es im Team zum Bruch kam und die Kommunikation versagte. Jelinek geht der Frage anhand psychologischer Studien und Aussagen von Bewohnern nach. Die akustische Ebene des Hörstücks ist beklemmend. Der Hörer gewinnt durch die Beschäftigung mit dem Thema „Biosphere“ Erkenntnisse zu Extremsituationen. Mit der Titelwahl zu seinem Hörstück indes scheitert der Autor ...

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 8.000 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter. Das DLR unterhält Büros in Brüssel, Paris, Tokio und Washington D.C.

Impressum

DLR-Magazin – Das Magazin des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt

Herausgeber: Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR)

Redaktion: Sabine Hoffmann (ViSdP)
Cordula Tegen (Redaktionsleitung)
An dieser Ausgabe haben mitgewirkt:
Manuela Braun, Dorothee Bürkle, Falk Dambowsky,
Bernadette Jung, Elisabeth Mittelbach, Michel
Winand sowie Peter Zarth

Redaktionsschluss: 12. November 2014

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



Druck: AZ Druck und Datentechnik GmbH,
87437 Kempten

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.

Die in den Texten verwendeten weiblichen oder männlichen Bezeichnungen für Personengruppen gelten für alle Geschlechter.

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**